



**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**IMPLEMENTASI DAN EVALUASI KINERJA MODULASI  
DAN DEMODULASI GMSK DENGAN MENGGUNAKAN  
WARP**

Dwi Putri Kusumadewi  
NRP 2212106017

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Suwadi, MT.  
Dr. Ir. Titiek Suryani, MT.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015

*[ Halaman ini sengaja dikosongkan ]*



**FINAL PROJECT - TE 141599**

**IMPLEMENTATION AND PERFORMANCE EVALUATION  
OF GMSK MODULATION AND DEMODULATION USING  
WARP**

Dwi Putri Kusumadewi  
NRP 2212106017

Supervisor  
Dr. Ir. Suwadi, MT.  
Dr. Ir. Titiek Suryani, MT.

DEPARTMENT ELECTRICAL ENGINEERING  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2015

*[ Halaman ini sengaja dikosongkan ]*

**IMPLEMENTASI DAN EVALUASI KINERJA MODULASI  
DAN DEMODULASI GMSK DENGAN MENGGUNAKAN  
WARP**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia  
Jurusan Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Menyetujui**

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

**Dr. Ir. Suwadi, MT.**  
**NIP. 196808181993031002**

**Dr. Ir. Titiek Suryani, MT.**  
**NIP. 196411301989032001**



**SURABAYA  
JANUARI 2015**

# Implementasi dan Evaluasi Kinerja Modulasi dan Demodulasi GMSK dengan Menggunakan Warp

Nama : Dwi Putri Kusumadewi  
Pembimbing : Dr. Ir. Suwadi, MT.  
Dr. Ir. Titiek Suryani, MT.

## ABSTRAK

Modulasi GMSK ( *Gaussian Minimum Shift Keying*) adalah teknik modulasi yang mengurangi *spectrum sidelobe* pada modulasi *Minimum Shift Keying* (MSK) dengan cara melewati sinyal NRZ ke filter LPF *Gaussian*. Teknik modulasi ini biasanya digunakan pada jaringan komunikasi GSM. Pada Tugas Akhir ini dilakukan proses perancangan dan implementasi modulasi dan demodulasi GMSK pada *platform* WARP. Proses perancangan modulasi GMSK dilakukan melalui pemrograman pada *software* MATLAB 2012. Sistem diimplementasi pada modul WARPLab7. Jumlah bit yang dibangkitkan adalah 106800 bit. Sebelum sistem diimplementasikan pada modul WARP, sinyal hasil ditambahkan dengan bit pilot dan *preamble* yang nantinya berguna untuk mendeteksi data informasi di penerima. Setelah penambahan pilot dan *preamble*, data di *upsample* terlebih dahulu kemudian dilakukan proses *upconvert* agar dapat dikirimkan melalui WARP. Pengujian implementasi sistem dilakukan dengan cara pengukuran nilai BER (*Bit Error Rate*) secara real pada beberapa kondisi, diantaranya perbedaan nilai BT, perbedaan jarak antara *node* pengirim dan *node* penerima dan kondisi LOS (*Line of Sight*) dan NLOS (*No Line of Sight*). Berdasarkan hasil pengujian didapatkan pada lingkungan *indoor* nilai BER terkecil diperoleh pada jarak 4 meter kondisi LOS dengan TxRF sebesar -22.97 dBm dengan BER  $6 \times 10^{-6}$ , sedangkan untuk lingkungan *outdoor* nilai BER terkecil diperoleh pada jarak 6 meter kondisi LOS dengan TxRF sebesar -22.97 dBm dengan BER  $6.9 \times 10^{-5}$ .

**Kata Kunci :** GMSK, Wireless Open Access Research Platform, BER

*[ Halaman ini sengaja dikosongkan ]*

# **Implementation and Performance Evaluation Of GMSK Modulation and Demodulation using WARP**

Nama : Dwi Putri Kusumadewi  
Pembimbing : Dr. Ir. Suwadi, MT.  
Dr. Ir. Titiek Suryani, MT.

## **ABSTRACT**

Gaussian minimum shift keying (GMSK) modulation is a modulation technique which reduce the spectrum sidelobe in minimum shift keying (MSK) modulation by passing the NRZ signal to gaussian low pass filter. This technique used in GSM network telecommunication. In this project, design processing, modulation and demodulation GMSK impelementation in WARP platform are done. Design processing of GMSK modulation had done using software MATLAB 2012. The system is implemented in WARPLab7 modul. Number of generated bits are 106800. Before the system is implemented in WARP modul, the result signal is added with pilot and preamble for information detection in receiver. After that, the data is upsampled and the upconvert process can be done and send thorough WARP. System implementation test had done with Bit Error Rate measurment in realtime in such a condition : differences of BT value, differences of the range between the source node and the receiver node in Line of Sight (LOS) and No Line of Sight (NLOS) condition. In indoor test, the smallest BER in LOS condition is achieved at range 4 meters with  $6 \times 10^{-6}$  and TxRF -22.97 dBm. In outdoor result, the smallest BER in LOS condition is achieved at range 6 meters with  $6.9 \times 10^{-6}$  and TxRF -22.97 dBm.

***Keyword : GMSK, Wireless Open Access Research Platform, BER***



*[ Halaman ini sengaja dikosongkan ]*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala karunia dan bantuan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan judul:

### **“Implementasi dan Evaluasi Kinerja Modulasi dan Demodulasi GMSK dengan Menggunakan WARP”**

Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi dalam menyelesaikan Program Studi Strata 1 pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Dalam proses pengerjaan Tugas Akhir ini penulis telah terbantu oleh beberapa pihak, antara lain:

1. Kedua orang tua, yang selalu mendukung, mendoakan dan memberikan bantuan berupa material dan non material.
2. Bapak Dr. Ir. Suwadi, MT dan Ibu Dr. Ir. Titiek Suryani, MT selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bantuan teknis selama pembuatan Tugas Akhir berlangsung.
3. Bapak dan Ibu Dosen Pengajar Lintas Jalur Teknik Elektro atas ilmu dan bimbingannya selama proses perkuliahan.
4. Keluarga besar Laboratorium Telekomunikasi Multimedia B304, khususnya tim riset WARP, Hasan, Rini, Fanny, Arimaya, Via dan Adit atas kerja samanya.
5. Teman-teman Lintas Jalur Genap 2012, khususnya program studi Teknik Telekomunikasi Multimedia, Ka Izwar, Raka, Angga, Mega, Tari, Mas Isna, Ka Galih, Mba Oka, Muthi, Uci, Prima, Hani, Novi, Arif dan Mas Arif atas kerja samanya selama masa perkuliahan dan menyelesaikan Tugas Akhir.

Penulis menyadari bahwa buku Tugas Akhir ini jauh dari sempurna, oleh sebab itu penulis membuka diri untuk saran dan kritik yang bersifat membangun. Penulis juga berharap Tugas Akhir ini dapat dikembangkan lebih lanjut sehingga dapat digunakan sebaik-baiknya untuk mendukung perkembangan ilmu pengetahuan.

Surabaya, Januari 2015

Penulis

*[ Halaman ini sengaja dikosongkan ]*

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Metodologi Penelitian.....	2
1.6 Sistematika Penulisan .....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Gaussian Minimum Shift Keying .....	7
2.1.1 Modulator GMSK .....	8
2.1.2 Demodulator GMSK .....	10
2.1.3 Diagram Konstelasi.....	11
2.1.4 Probabilitas Error Bit .....	12
2.2 Wireless Open Access Research Platform (WARP) .....	13
2.2.1 Arsitektur Platform .....	13
2.2.2 Desain Hardware.....	15
BAB III PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM .....	21
3.1 Alur Perancangan Sistem.....	21
3.2 Integrasi Matlab dengan Perangkat WARP .....	22
3.3 Implementasi Sistem.....	24
3.4 Metode Pengukuran.....	32
3.4.1 Pengukuran pada Lingkungan <i>Indoor</i> .....	34
3.4.2 Pengukuran pada Lingkungan <i>Outdoor</i> .....	35
BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA SISTEM .....	37
4.1 Analisa Sistem Komunikasi SISO .....	37
4.2 Analisa Hasil Pengukuran.....	42

4.2.1	Analisa Hasil Pengukuran pada Lingkungan <i>Indoor</i>	42
4.2.2	Analisa Hasil Pengukuran Lingkungan <i>Outdoor</i> ...	52
4.2.3	Analisa Hasil Pengukuran pada Lingkungan <i>Indoor</i> dan <i>Outdoor</i> .....	62
BAB V PENUTUP .....		69
5.1	Kesimpulan .....	69
5.2	Saran .....	70
DAFTAR PUSTAKA .....		71
LAMPIRAN A .....		73
LAMPIRAN B.....		75
DAFTAR RIWAYAT HDUP.....		89

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Diagram Alir Metodologi Penelitian .....	4
Gambar 2. 1 Respon filter Gaussian dengan beberapa variasi nilai BT ..	8
Gambar 2. 2 Blok Modulator GMSK.....	9
Gambar 2. 3 Blok Demodulator GMSK.....	10
Gambar 2. 4 Spektrum Modulasi GMSK .....	10
Gambar 2. 5 Diagram Konstelasi GMSK.....	11
Gambar 2. 6 Komponen desain platform .....	13
Gambar 2. 7 Penggunaan Modul WARPLab .....	14
Gambar 2. 8 Modul WARP .....	15
Gambar 2. 9 Radio Board.....	16
Gambar 2. 10Arsitektur Radio Board.....	16
Gambar 2. 11 TX Output power vs Gain Setting Pada MAX2829 .....	17
Gambar 2. 12 Gain RX Baseband pada MAX2829.....	18
Gambar 3. 1 Diagram Alir Modulasi dan Demodulasi GMSK .....	21
Gambar 3. 2 Alur Perancangan Sistem .....	22
Gambar 3. 3 Integrasi PC dengan Perangkat WARP .....	23
Gambar 3. 4 Pengaturan <i>Dipswitch</i> WARP .....	23
Gambar 3. 5 Tampilan <i>software</i> telah terkoneksi dengan WARP .....	24
Gambar 3. 6 Desain Frame Data yang dikirimkan WARP.....	25
Gambar 3. 7 Blok Diagram Sistem Komunikasi SISO dengan Modulasi GMSK.....	26
Gambar 3. 8 Kurva BER GMSK pada kanal AWGN .....	27
Gambar 3. 9 Perbandingan Spektrum Sinyal modulasi MSK dengan modulasi GMSK .....	28
Gambar 3. 10 Spektrum Sinyal GMSK dengan BT = 1.0 setelah di <i>upconvert</i> .....	29
Gambar 3. 11 Spektrum Sinyal MSK setelah di <i>upconvert</i> .....	30
Gambar 3. 12 Hasil Pengukuran pada <i>Spektrum Analyzer</i> untuk <i>Radio</i> <i>Board</i> yang tidak digunakan. ....	33
Gambar 3. 13 Pengukuran Lingkungan <i>Indoor</i> Kondisi LOS .....	34
Gambar 3. 14 Pengukuran Lingkungan <i>Indoor</i> Kondisi NLOS .....	34
Gambar 3. 15 Pengukuran Lingkungan <i>Outdoor</i> Kondisi LOS .....	35

Gambar 3. 16 Pengukuran Lingkungan <i>Outdoor</i> Kondisi NLOS .....	35
Gambar 4. 1 Pembangkitan Bit Informasi .....	37
Gambar 4. 2 Keluaran Filter Gaussian .....	38
Gambar 4. 3 Penambahan pilot dan preamble .....	38
Gambar 4. 4 Sinyal Keluaran Filter SRRC ( <i>Squared Root Raised Cosine</i> ) .....	39
Gambar 4. 5 (a) Spektrum Sinyal Sebelum di <i>Upconvert</i> dengan nilai BT =0.2 (b) Spektrum Sinyal Setelah di <i>Upconvert</i> dengan nilai BT =0.2 .....	39
Gambar 4. 6 Hasil Pengukuran Spektrum Sinyal GMSK dengan BT = 0.2 TxRF = -24.38 dBm pada <i>Spectrum Analyzer</i> di pemancar. ....	40
Gambar 4. 7 Pendeteksian Simbol Preamble .....	41
Gambar 4. 8 Diagram Konstelasi GMSK di Penerima .....	41
Gambar 4. 9 Perbandingan Bit yang Dikirimkan dan Bit yang Diterima .....	42
Gambar 4. 10 Grafik BER GMSK Jarak 4m Lingkungan <i>Indoor</i> pada Kondisi LOS .....	44
Gambar 4. 11 Grafik BER GMSK Jarak 4m Lingkungan <i>Indoor</i> pada Kondisi NLOS .....	45
Gambar 4. 12 Grafik BER GMSK Jarak 5m Lingkungan <i>Indoor</i> pada Kondisi LOS .....	47
Gambar 4. 13 Grafik BER GMSK Jarak 5m Lingkungan <i>Indoor</i> pada Kondisi NLOS .....	48
Gambar 4. 14 Grafik BER GMSK Jarak 6m Lingkungan <i>Indoor</i> pada Kondisi LOS .....	50
Gambar 4. 15 Grafik BER GMSK Jarak 6m Lingkungan <i>Indoor</i> pada Kondisi NLOS .....	52
Gambar 4. 16 Grafik BER GMSK Jarak 4m Lingkungan <i>Outdoor</i> pada Kondisi LOS .....	54
Gambar 4. 17 Grafik BER GMSK Jarak 4m Lingkungan <i>Outdoor</i> pada Kondisi NLOS .....	55
Gambar 4. 18 Grafik BER GMSK Jarak 5m Lingkungan <i>Outdoor</i> pada Kondisi LOS .....	57

Gambar 4. 19 Grafik BER GMSK Jarak 5m Lingkungan <i>Outdoor</i> pada Kondisi NLOS .....	58
Gambar 4. 20 Grafik BER GMSK Jarak 6m Lingkungan <i>Outdoor</i> pada Kondisi LOS .....	60
Gambar 4. 21 Grafik BER GMSK Jarak 6m Lingkungan <i>Outdoor</i> pada Kondisi NLOS .....	61
Gambar 4. 22 Perbandingan BER pada Lingkungan <i>Indoor</i> dan <i>Outdoor</i> pada Jarak 4 meter Kondisi LOS .....	62
Gambar 4. 23 Perbandingan BER pada Lingkungan <i>Indoor</i> dan <i>Outdoor</i> pada Jarak 4 meter Kondisi NLOS.....	63
Gambar 4. 24 Perbandingan BER pada Lingkungan <i>Indoor</i> dan <i>Outdoor</i> pada Jarak 5 meter Kondisi LOS .....	64
Gambar 4. 25 Perbandingan BER pada Lingkungan <i>Indoor</i> dan <i>Outdoor</i> pada Jarak 5 meter Kondisi NLOS.....	65
Gambar 4. 26 Perbandingan BER pada Lingkungan <i>Indoor</i> dan <i>Outdoor</i> pada Jarak 6 meter Kondisi LOS .....	66
Gambar 4. 27 Perbandingan BER pada Lingkungan <i>Indoor</i> dan <i>Outdoor</i> pada Jarak 6 meter Kondisi NLOS.....	67



*[ Halaman ini sengaja dikosongkan ]*

## DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Nilai BER pada Jarak 4m Lingkungan <i>Indoor</i> Kondisi LOS	43
Tabel 4. 2 Nilai BER pada Jarak 4m Lingkungan <i>Indoor</i> Kondisi NLOS	45
Tabel 4. 3 Nilai BER pada Jarak 5m Lingkungan <i>Indoor</i> Kondisi LOS	46
Tabel 4. 4 Nilai BER pada Jarak 5m Lingkungan <i>Indoor</i> Kondisi NLOS	48
Tabel 4. 5 Nilai BER pada Jarak 6m Lingkungan <i>Indoor</i> Kondisi LOS	49
Tabel 4. 6 Nilai BER pada Jarak 6m Lingkungan <i>Indoor</i> Kondisi NLOS	51
Tabel 4. 7 Nilai BER pada Jarak 4m Lingkungan <i>Outdoor</i> Kondisi LOS	53
Tabel 4. 8 Nilai BER pada Jarak 4m Lingkungan <i>Outdoor</i> Kondisi NLOS	55
Tabel 4. 9 Nilai BER pada Jarak 5m Lingkungan <i>Outdoor</i> Kondisi LOS	56
Tabel 4. 10 Nilai BER pada Jarak 5m Lingkungan <i>Outdoor</i> Kondisi NLOS	58
Tabel 4. 11 Nilai BER pada Jarak 6m Lingkungan <i>Outdoor</i> Kondisi LOS	59
Tabel 4. 12 Nilai BER pada Jarak 6m Lingkungan <i>Outdoor</i> Kondisi NLOS	61

*[ Halaman ini sengaja dikosongkan ]*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi komunikasi yang berkembang saat ini menggunakan teknologi *wireless* dimana teknologi *wireless* ini memungkinkan setiap orang dapat bergerak dengan bebas dan tetap bisa berkomunikasi dengan orang lain. Hal yang penting dalam komunikasi *wireless* adalah teknik modulasi yang digunakan. Pada teknologi komunikasi *wireless* saat ini, menggunakan teknik modulasi digital dalam proses penransmisian data dikarenakan modulasi digital memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan modulasi analog. Modulasi digital memiliki kelebihan error yang dihasilkan lebih sedikit dibandingkan modulasi analog. Namun modulasi digital memerlukan bandwidth yang besar, sedangkan bandwidth kanal pada komunikasi *wireless* hanya terbatas.

Modulasi GMSK (*Gaussian Minimum Shift Keying*) merupakan teknik modulasi yang biasanya digunakan pada sistem komunikasi GSM. GMSK (*Gaussian Minimum Shift Keying*) merupakan pengembangan dari teknik modulasi MSK dimana pada modulasi GMSK terdapat penambahan *Gaussian Low pass Filter*. Filter ini berfungsi untuk mengurangi atau menghilangkan upper-sidelobe pada spektrum sinyal sehingga *bandwidth* informasi dapat melewati *bandwidth* kanal yang disediakan. WARP (*Wireless Open-Access Research Platform*) adalah salah satu bentuk *Software Defined Radio* yang dikembangkan sebagai modul penelitian tentang sistem komunikasi nirkabel. WARP merupakan sebuah FPGA (*Field Programmable Gate Array*) atau modul DSP (*Digital Signal Processing*) yang terhubung dengan modul radio.

Pada Tugas Akhir ini dibahas mengenai implementasi modulasi dan demodulasi GMSK pada modul WARP. Pemrograman untuk modulasi dan demodulasi GMSK dilakukan dengan menggunakan *software* MATLAB 2012a. Masalah yang dibahas adalah performansi BER (*Ber Error Rate*) terhadap perubahan nilai BT (*bandwidth/bit time*) pada lingkungan *indoor* dan *outdoor*.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Masalah yang dibahas melalui Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana implementasi modulasi dan demodulasi GMSK pada WARP?
2. Bagaimana kinerja hasil implementasi modulasi dan demodulasi GMSK pada modul WARP pada kondisi real?

## **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Perancangan modulasi dan demodulasi GMSK menggunakan *software* MATLAB 2012.
2. Menggunakan WARP Lab versi 7 untuk implementasi modulasi dan demodulasi GMSK.
3. Hasil implementasi yang diukur adalah nilai BER (*Bit Error Rate*).
4. Pengukuran nilai BER dilakukan dengan merubah nilai BT dari nilai 0 hingga 1.
5. Pengukuran dilakukan pada lingkungan *indoor* dan *outdoor*.
6. Tidak menghitung besarnya noise yang timbul pada keluaran sistem.

## **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian yang diharapkan tercapai dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui implementasi teknik modulasi dan demodulasi GMSK pada WARP.
2. Mengetahui kinerja hasil implementasi modulasi dan demodulasi GMSK pada modul WARP pada kondisi real.

## **1.5 Metodologi Penelitian**

Metodologi yang digunakan dalam penyusunan Tugas Akhir ini sebagai berikut:

1. Studi Pustaka  
Studi yang dilakukan dengan mengumpulkan dan mempelajari berbagai buku teks maupun jurnal ilmiah yang berkaitan

dengan Tugas Akhir dan melakukan diskusi dengan dosen pembimbing.

2. Penentuan Parameter dan Perancangan Teknik Modulasi dan Demodulasi GMSK

Proses awal dilakukan penentuan beberapa parameter sistem yang akan digunakan dalam perancangan teknik modulasi dan demodulasi GMSK. Pengintegrasian antara *software* dan *hardware* dilakukan untuk mengimplementasikan sistem pada modul WARP. Perancangan sistem modulasi dan demodulasi GMSK dengan menggunakan *software* MATLAB 2012a.

3. Implementasi pada Modul WARP

Implementasi sistem teknik modulasi dan demodulasi GMSK dilakukan pada Modul WARPLab7. Implementasi dilakukan dengan cara menghubungkan sebuah PC dengan 2 perangkat WARP yang berfungsi sebagai *transmitter* dan *receiver* melalui sebuah *switch Ethernet* yang dihubungkan melalui kabel LAN (*Local Area Network*).

4. Pengujian Sistem

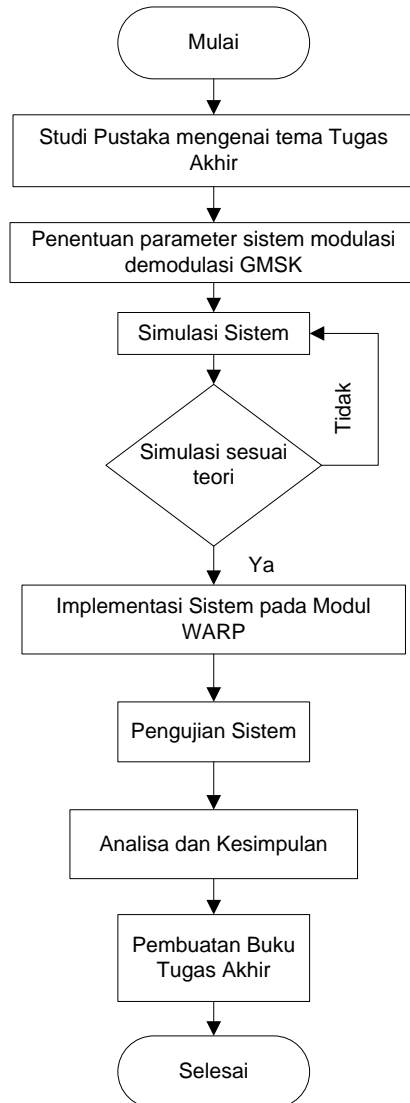
Pengujian sistem dilakukan dengan melakukan pengukuran pada lingkungan *indoor* dan *outdoor* serta pada kondisi LOS (*Line of Sight*) dan NLOS (*Non Line of Sight*). Pengujian sistem dilakukan dengan cara menghitung nilai BER (*Bit Error Rate*) dengan cara membandingkan data yang dikirimkan pada *transmitter* dengan data yang diterima pada *receiver*. Pengujian sistem juga dilakukan dengan nilai BT yang berbeda untuk mengetahui pengaruh nilai BT pada modulasi dan demodulasi GMSK.

5. Analisa Hasil Keluaran Sistem

Meliputi analisa dan hasil keluaran sistem pada modul WARP berupa nilai BER (*Bit Error Rate*) yang diperoleh selama pengujian sistem dengan berbagai nilai BT, lingkungan dan kondisi lingkungan.

6. Kesimpulan

Penarikan kesimpulan dari kinerja sistem modulasi dan demodulasi GMSK yang telah diimplementasikan pada modul WARP.



**Gambar 1. 1** Diagram Alir Metodologi Penelitian

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan pada Tugas Akhir ini dibagi menjadi beberapa bab dengan rincian:

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini menjelaskan mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian dan metodologi dalam penyusunan Tugas Akhir ini.

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini menjelaskan berbagai macam teori yang menunjang dalam pembuatan Tugas Akhir antara lain meliputi modulasi dan demodulasi GMSK dan perangkat WARP.

### **BAB III PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM**

Bab ini menjelaskan mengenai penentuan parameter, perancangan sistem modulasi dan demodulasi GMSK, simulasi, integrasi dan implementasi sistem pada modul WARP.

### **BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA SISTEM**

Bab ini menjelaskan mengenai pengujian dari sistem yang telah disimulasi dan diimplementasikan dan analisa data berdasarkan parameter yang ditetapkan.

### **BAB V PENUTUP**

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran yang diperoleh dalam pembuatan Tugas Akhir.



*[ Halaman ini sengaja dikosongkan ]*

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Gaussian Minimum Shift Keying

MSK (*Minimum Shift Keying*) merupakan tipe CPFSK (*Continuous Phase Shift Keying*) dimana deviasi frekuensi puncaknya sama dengan  $\frac{1}{4}$  bit rate. MSK kurang efisien digunakan untuk komunikasi bergerak karena spectrum frekuensinya masih memiliki lobus samping. Untuk memperbaiki kondisi tersebut, maka dikembangkanlah modulasi GMSK.[1]

GMSK sebagai bentuk pengembangan dari MSK, didapatkan dengan cara melewati sinyal input ke dalam *premodulation filter Gaussian* sebelum termulasi MSK. Filter tersebut berfungsi sebagai *shaping* filter dimana untuk membentuk sinyal NRZ yang tidak kontinu menjadi sinyal kontinu[1]. *Premodulation filter Gaussian* mengubah respon penuh sinyal informasi (dimana setiap simbol *baseband* membutuhkan satu periode bit  $T$ ) ke dalam respon sebagian yang mana setiap simbol yang dikirim membutuhkan beberapa periode bit. Hubungan antara *pre-modulation filter bandwidth*,  $B$ , dan periode bit,  $T$ , mendefinisikan bandwidth dari sistem. Respon filter Gaussian ditentukan oleh persamaan:

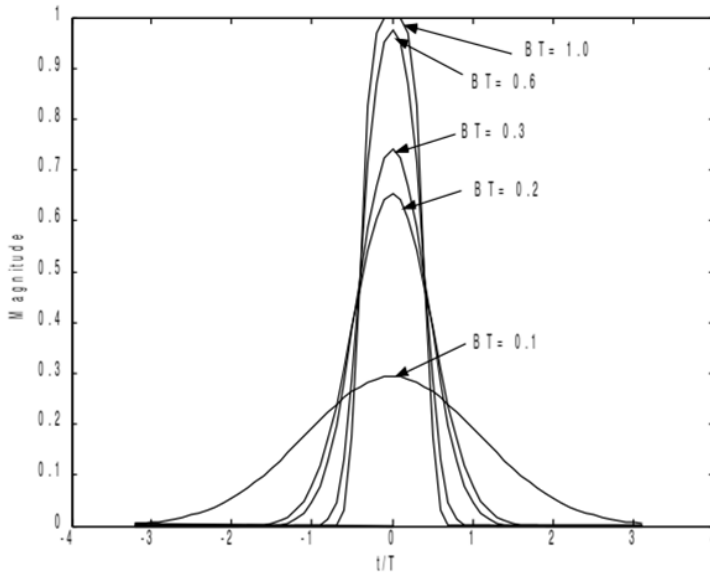
$$g(t) = \frac{1}{2} \left[ \operatorname{erfc} \left( \pi \sqrt{\frac{2}{\log 2}} B T_b \left( \frac{t}{T_b} - \frac{1}{2} \right) \right) - \operatorname{erfc} \left( \pi \sqrt{\frac{2}{\log 2}} B T_b \left( \frac{t}{T_b} + \frac{1}{2} \right) \right) \right] \quad (2.1)[2]$$

dengan :  $g(t)$  = filter Gaussian  
 $\operatorname{erfc}$  = Q function  
 $\pi$  = 3.14  
 $B$  = lebar pita 3 dB  
 $T_b$  = periode bit

Berdasarkan persamaan diatas, respon filter dari filter Gaussian dengan beberapa variasi  $BT$  dibuat dengan menggunakan Matlab dapat ditunjukkan pada Gambar 2.1.

*Premodulation filter Gaussian* dapat menimbulkan ISI (*Intersymbol Interference*) pada sinyal yang ditransmisikan. Akibat dari peningkatan efisiensi bandwidth akan terjadi degradasi dalam efisiensi

daya. Tetapi hal ini dapat diabaikan jika produk 3dB-bandwidthbit (BT) filter lebih besar dari 0.5 atau nilai BT tidak terlalu kecil.[1]



**Gambar 2. 1** Respon filter Gaussian dengan beberapa variasi nilai BT[2]

Modulasi MSK memiliki beberapa kelebihan, tetapi masih memiliki lobus samping pada spektrum sinyalnya. Lobus samping tersebut dapat diatasi dengan melewati sinyal pada *premodulation filter*. Kelebihan dari modulasi GMSK adalah amplitudo sinyal modulasi ini konstan sehingga bentuk selubung dari spektral sinyal ini akan tetap, efisiensi spectral yang sangat baik, dapat terdeteksi secara koheren sebagai sinyal MSK dan secara non-koheren sebagai sinyal FSK.

### 2.1.1 Modulator GMSK[3]

Proses yang terjadi pada modulator GMSK dimulai dari perubahan bit stream 0 dan 1 menjadi bit bipolar dengan level -1 dan 1. Kemudian bit bipolar tersebut diproses melalui *filter Gaussian*  $g(t)$ . Respon filter dihitung melalui konvolusi antara bit bipolar dengan  $g(t)$ . Hasil konvolusi kemudian diintegrasikan untuk menghitung nilai fase  $\phi(t)$ .

Fase tersebut akan menentukan *I-channel* dan *Q-channel* melalui persamaan 2.2 dan 2.3:

$$I = \cos(\varphi(t)) \quad (2.2)$$

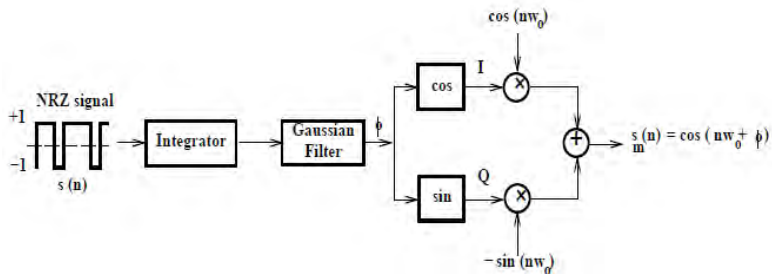
$$Q = \sin(\varphi(t)) \quad (2.3)$$

Persamaan untuk kedua sinyal yang akan dikirim dinyatakan dalam  $s(t)$  seperti pada persamaan 2.4

$$s(t) = I(t) \cos(2\pi ft) + Q(t) \sin(2\pi ft) \quad (2.4)$$

dengan :  $s(t)$  = sinyal gabungan sinyal *Inphase* dan sinyal *Quadrature*  
 $I(t)$  = sinyal *Inphase*  
 $Q(t)$  = sinyal *Quadrature*  
 $f$  = frekuensi (Hz)  
 $t$  = waktu (s)

Blok diagram modulator ditunjukkan pada Gambar 2.2 seperti dibawah ini:



**Gambar 2. 2** Blok Modulator GMSK[2]

Seperti yang dijelaskan sebelumnya, untuk setiap simbol pada GMSK memiliki pola digital 1 bit. Misalkan bitstream (0 1 1 1 0 0 0) akan dibaca per 1 bit untuk setiap simbolnya menjadi (0, 1, 1, 1, 0, 0, 0) yang nantinya dipetakan menjadi 1 buah simbol yaitu 0 atau 1 pada koordinat *inphase* dan *quadrature*-nya.

### 2.1.2 Demodulator GMSK[3]

Sinyal GMSK yang sudah ditransmisikan harus didemodulasikan, agar didapatkan sinyal informasi sesuai yang dikirimkan pemancar. Penerima hanya melakukan proses kebalikan dari pemancar. Proses demodulasi dilakukan dengan cara mengalikan sinyal yang diterima dari kanal propagasi dengan gelombang *sinus* dan *cosinus* seperti hasil demodulasi GMSK yang dinyatakan dalam  $s(t)$  seperti pada Persamaan 2.5

$$s(t) = I(t) \cos(2\pi ft + \theta_d(t)) + Q(t) \sin(2\pi ft + \theta_d(t)) \quad (2.5)$$

dengan :  $s(t)$  = sinyal gabungan sinyal *Inphase* dan sinyal *Quadrature*

$I(t)$  = sinyal *Inphase*

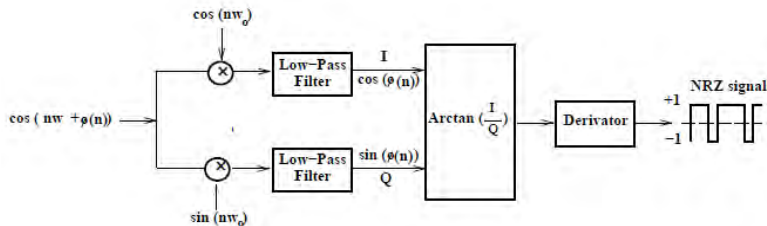
$Q(t)$  = sinyal *Quadrature*

$\theta_d(t)$  = Deviasi frekuensi

$f$  = frekuensi (Hz)

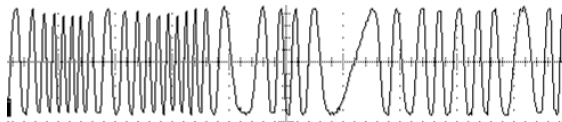
$t$  = waktu (s)

Dalam prakteknya ada delay propagasi yang tidak diketahui antara pemancar dan penerima yang harus dikompensasi oleh sinkronisasi penerima *local osilator* yaitu fungsi gelombang *sinus* dan *cosinus*. Blok diagram dari demodulator GMSK ditunjukkan pada Gambar 2.3 dibawah ini



**Gambar 2. 3** Blok Demodulator GMSK[2]

Sinyal GMSK dapat di representasikan sebagai berikut:



**Gambar 2. 4** Spektrum Modulasi GMSK

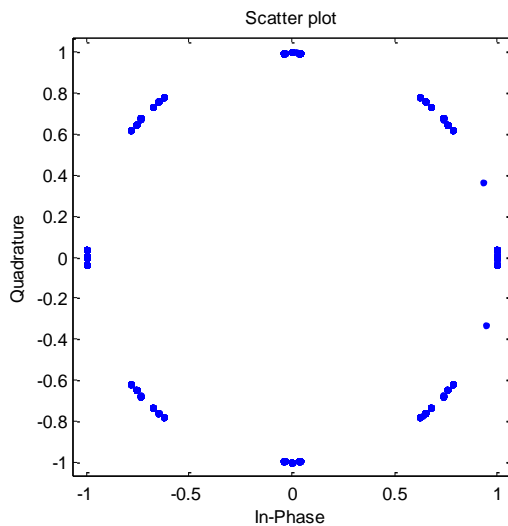
### 2.1.3 Diagram Konstelasi[3]

Diagram konstelasi adalah sebuah diagram yang merepresentasikan pola modulasi digital pada bidang kompleks yang terdiri dari koordinat *real* dan *imaginer* yang berbeda sudut  $90^0$ . Titik-titik pada diagram tersebut diurutkan berdasarkan aturan kode Gray. Kode Gray adalah pengurutan nilai biner dimana kedua nilai yang berdekatan hanya mempunyai perbedaan satu digit. Penggunaan kode Gray akan membantu mengurangi *bit error* yang terjadi. Jumlah titik-titik pada diagram berupa pemangkatan dari  $2^n$ , karena pada komunikasi digital datanya bernilai biner.

Sumbu x mewakili fungsi *cosinus* yang kemudian disebut sumbu I (*Inphase*). Sedangkan sumbu y mewakili fungsi *sinus* dan disebut sebagai sumbu Q (*Quadrature*). Jumlah simbol pada diagram konstelasi disebut “M” atau dengan kata lain GMSK memiliki nilai M=2 (jumlah bit per simbol =1) yang dinyatakan dalam Persamaan 2.6

$$\text{Jumlah bit per simbol} = \log_2(M) \quad (2.6)$$

dengan : M = Tingkat Modulasi



**Gambar 2. 5** Diagram Konstelasi GMSK

### 2.1.4 Probabilitas Error Bit[3]

Dalam pengiriman bit, pada bagian penerima dapat terjadi kesalahan yang biasa disebut *probabilitas error bit* ( $P_b$ ). Untuk menunjukkan kinerja sistem, digunakan probabilitas error yang nantinya didapatkan nilai *Bit Error Rate* (BER). Pada konstelasi *rectangular*, kanal *Gaussian*, dan penerima *matched filter*, *probabilitas error bit* untuk GMSK dimana  $M=2$  dinyatakan dalam Persamaan 2.7

$$P_e = Q \sqrt{\frac{2\alpha E_b}{N_0}} \quad (2.7)$$

dengan :  $Q(x)$  = persamaan *Q-function* (disebut *complementary error function* atau *co-error function*, didefinisikan sebagai probabilitas *error* simbol pada *noise Gaussian*.

$A$  = *roll off factor* yang nilainya sama dengan nilai BT  
 $E_b$  = Energi bit  
 $N_0$  = Kerapatan daya noise

Kaitan antara  $S/N$  dan  $E_b/N_0$  dapat dinyatakan dalam Persamaan 2.8

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{S}{N} \times \frac{W}{R_b} \quad (2.8)$$

dengan :  $S$  = daya sinyal  
 $W$  = bandwidth (Hz)  
 $N$  = noise sinyal  
 $R_b$  = lajut bit (bps)

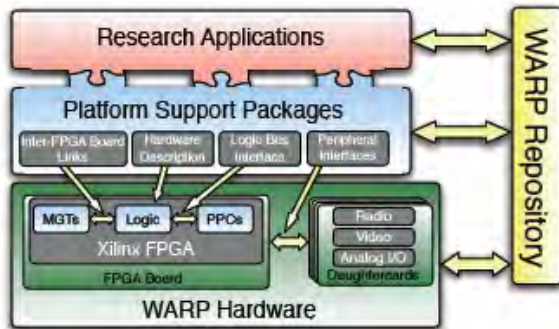
Pada dasarnya nilai *error* atau yang biasa disebut BER dapat dihitung dengan membandingkan jumlah kesalahan bit yang diterima dengan membandingkan jumlah bit yang dikirim. Semakin kecil nilai BER maka semakin bagus sistem komunikasi tersebut dan sebaliknya. Nilai BER sangat dipengaruhi oleh nilai variansi  $E_b/N_0$  dan kesalahan dalam deteksi bit.

## 2.2 Wireless Open Access Research Platform (WARP)

WARP (*Wireless Open-Access Research Platform*) merupakan perangkat *wireless* yang dapat diprogram dimana dapat diukur dan dikembangkan. Desain dari lapisan fisik (PHY) WARP dirancang untuk komunikasi nirkabel dengan kinerja kerja tinggi. GNU Radio dan USRP terbatas untuk pengaplikasian pita sempit, WARP di desain untuk komunikasi pita lebar. *Platform* ini terdiri dari *hardware* dan implementasi FPGA yang keduanya merupakan kunci dalam komunikasi. Peneliti yang akan melakukan penelitian di bidang komunikasi nirkabel dan pengembangan *platform* WARP ini, dapat secara bebas mendapatkan spesifikasi *hardware* dan implementasi algoritma karena sudah tersedia secara bebas (*Open Access*).

### 2.2.1 Arsitektur Platform[4]

Arsitektur *platform* WARP ini terdiri dari empat komponen yaitu *Custom hardware*, *platform support packages*, *open-access repository*, dan *research applications*. *Platform* dirancang untuk memenuhi tuntutan penelitian pada kinerja sistem nirkabel tingkat tinggi.



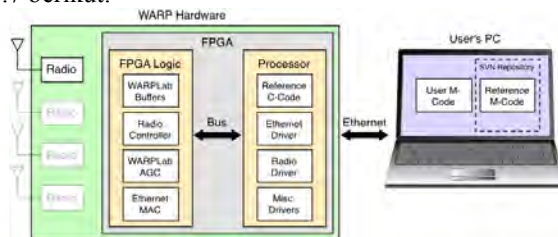
**Gambar 2. 6** Komponen desain platform

- a. Custom Hardware : *Custom hardware* dirancang untuk memenuhi kebutuhan komunikasi nirkabel dengan kinerja yang tinggi. *Hardware* menyediakan sumber daya tinggi yang mampu diimplementasikan pada kecepatan algoritma, dapat terukur interkoneksinya untuk mengalokasikan lebih banyak kekuatan pemrosesan yang diperlukan, dan pilihan periferal yang diperluas untuk radio, prosesor khusus dan antarmuka ekspansi lainnya.



- b. Platform Support Packages : Perangkat desain dan modul antarmuka *low-level* di rancang oleh peneliti agar memungkinkan penggunaan perangkat dengan baik pada semua lapisan desain jaringan nirkabel.
- c. Open-Access Repository : *Repository* berfungsi sebagai arsip untuk semua aspek dari *platform*, termasuk desain, dokumentasi perpustakaan, dan contoh aplikasi. Menerapkan kontrol versi untuk semua model kode, dan dokumentasi serta menyediakan fitur manajemen proyek dasar untuk memungkinkan kolaborasi dengan banyak pengguna pada satu proyek. Isi *repository* tersedia di bawah lisensi terbuka *BSD-40 derived*. Semua pengguna tidak diperlukan untuk menyumbangkan desain mereka sendiri, contoh dan dokumentasi kembali ke *repository*.
- d. Research Applications : Implementasi algoritma baru, diaktifkan oleh *hardware* dan paket *support platform*. Sistem kendali menggabungkan algoritma baru yang dapat dengan cepat dibangun menggunakan modul blok bangunan standar yang disediakan dalam *repository*.

WARP sendiri bisa diprogram melalui komputer dengan bantuan software Xilinx atau penggunaannya bisa dilakukan melalui software yang dikembangkan khusus yaitu WARPLab. Software ini berkerja melalui Matlab untuk memberikan perintah pada WARP, misalnya, membaca register, mematikan atau menyalakan radio dan mengirim data. Secara keseluruhan, penggunaan WARPLab ditunjukkan pada Gambar 2.7 berikut:



**Gambar 2. 7** Penggunaan Modul WARPLab

### 2.2.2 Desain *Hardware*

WARP memiliki empat radio board yang bisa diatur secara terpisah. Masing-masing bekerja sebagai transceiver dan memiliki register tersendiri.



**Gambar 2. 8** Modul WARP

#### 1. Board FPGA[4]

Hardware harus menyediakan sumber daya untuk memenuhi kebutuhan komputasi dari sistem komunikasi nirkabel yang beroperasi pada 100 Mbps. WARP menggunakan FPGA sebagai processor utama karena memberikan pengolahan sumber daya yang besar, blok *programmable logic* di dalamnya dapat saling dihubungkan sehingga dapat membentuk unit fungsional yang kompleks.

FPGA yang digunakan pada modul WARP adalah Xilinx Virtex-II Pro FPGA. Selain menyediakan operasi DSP-intensif, FPGA juga menyediakan pilihan interkoneksi yang fleksibel dan cepat untuk antarmuka periferan dan menciptakan sistem multi-prosesor, yang merupakan dua syarat utama dari desain platform. Virtex-II Pro juga mencakup core prosesor PowerPC, menyediakan sumber daya yang ideal untuk menerapkan algoritma lapisan yang lebih tinggi dan cocok untuk *prosesor programmable logic*.

FPGA sendiri menyediakan kekuatan pemrosesan yang besar, koneksi untuk perangkat lain dan board yang memungkinkan berbagai aplikasi. Board FPGA menyediakan antarmuka Ethernet 10/100 untuk koneksi ke jaringan kabel standar. Koneksi ini memungkinkan

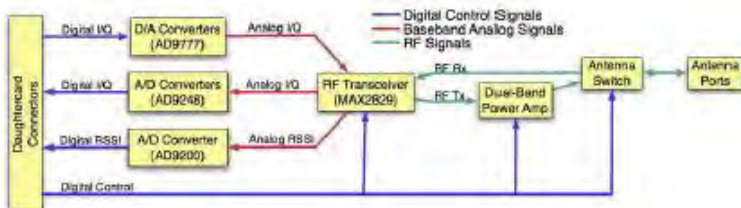
komunikasi *real-time* antara node jaringan kabel yang ada dengan node jaringan nirkabel kustom yang diimplementasikan pada WARP.

## 2. Radio Board

Radio *board* merupakan interface dari domain digital ke domain analog. Pada proses konversi dari digital ke analog dan sebaliknya, radio *board* menggunakan A/D (*Analog-to-Digital*) dan D/A (*Digital-to-Analog*) converter. Radio *board* juga melakukan proses modulasi dan demodulasi *baseband*. Radio *board* pada WARP didesain menggunakan IC Maxim MAX2829. *Single-chip* MAX2829 merupakan IC RF *transceiver* yang didesain khusus untuk aplikasi OFDM 802.11 WLAN yang dapat bekerja pada frekuensi RF 2.4 GHz -2.5GHz dan 4.9GHz dan 5.875 GHz. Bentuk fisik dari radio *board* ditunjukkan pada Gambar 2.8 dan arsitektur dari radio board WARP ditunjukkan pada Gambar 2.9.



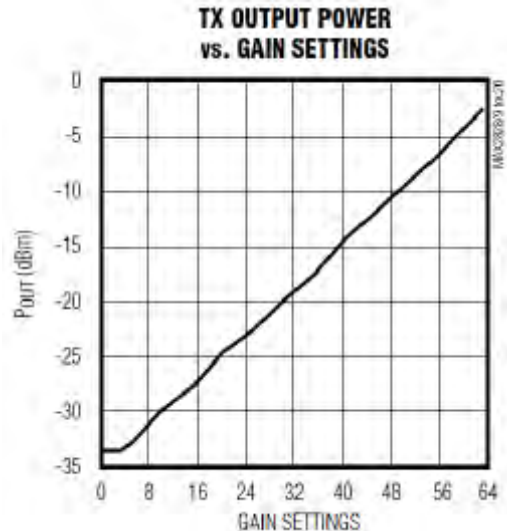
Gambar 2. 9 Radio Board[5]



Gambar 2. 10Arsitektur Radio Board[5]

Melalui WARPLab pengaturan gain dapat dilakukan, sesuai dengan konfigurasi pada radio board. Pengaturan gain terdapat 4 hal utama diantaranya sebagai berikut :

- *Trasmitter Radio Frequency Gain*



**Gambar 2. 11** TX Output power vs Gain Setting Pada MAX2829[6]

Berdasarkan referensi [6], karakteristik baseband gain memiliki kaitan sebagai berikut :

- ✚ Nilai gain linear pada range 4 hingga 63.
- ✚ Daya output dinyatakan dalam persamaan terhadap gain setting sebagai berikut :

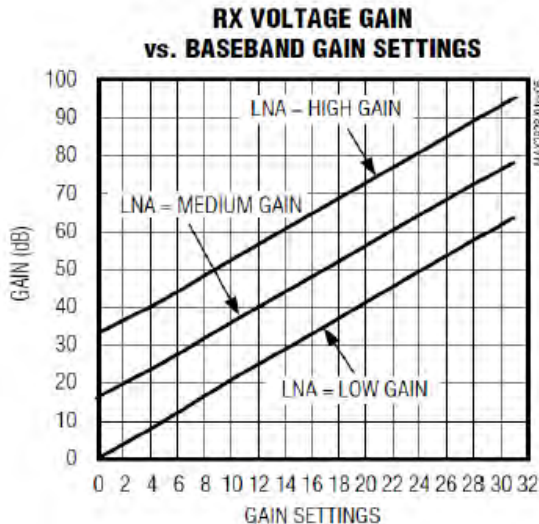
$$P_{out} = 0.5252x - 36.1017 \quad (2.9)$$

Dengan x adalah gain setting dengan range 4 hingga 63.

- *Transmitter Baseband Gain*  
Untuk *baseband* gain terdapat 3 level pengaturan melalui WARPLab.[6]

- *Receiver Baseband Gain*

Pada *receiver baseband gain*, terdapat 32 level pengaturan (0 - 31) berdasarkan referensi pada MAX2829 [6], grafik level pengaturan *baseband* ditunjukkan pada Gambar 2.12



**Gambar 2. 12** Gain RX Baseband pada MAX2829[6]

- *Receiver Radio Frequency Gain*

Pada pengaturan RF gain di penerima, node WARP memiliki tiga level LNA, masing – masing sebagai LNA = *low gain*, *medium gain* dan *high gain*. Besar penguatan juga mengacu pada gambar 2.19. Besar penguatan LNA sekitar 0 dB untuk *low gain*, 15 dB untuk *medium gain* dan 30 dB untuk *high gain*.

### 3. Peripheral Daughtercards[4]

*Board* FPGA menyediakan empat slot *daughtercard*. Setiap slot terhubung ke pin I / O, menyediakan fleksibel *high-throughput interface*. Slot *daughtercard* juga menyediakan 30 watt gabungan daya yang terisolasi dari pasokan FPGA. Slot *daughtercard* ini memberikan kesempatan untuk merancang berbagai *custom daughtercards*, mulai dari perangkat antarmuka seperti radio dan ethernet untuk modul

pengolahan tambahan yang dibangun di sekitar DSP atau prosesor khusus.

#### **4. MIMO/SISO/MISO/SIMO Radio[8]**

Desain platform radio WARP dirancang agar dapat bekerja pada band ISM 2,4 GHz dan 5 GHz. Radio dual band transceiver ditujukan agar dapat digunakan untuk aplikasi pita lebar seperti OFDM, dengan bandwidth mencapai 40 MHz.

#### **5. 10/100 Ethernet Port[8]**

Digunakan sebagai penghubung/interface antara platform board WARP dengan kabel yang menghubungkan ke jaringan internet.

*[ Halaman ini sengaja dikosongkan ]*

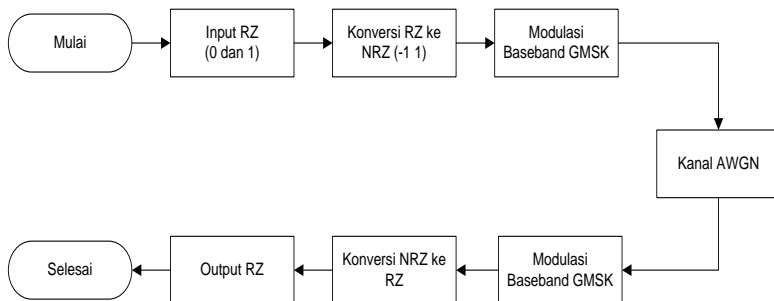
## BAB III

### PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM

Pada bab ini membahas tentang proses perancangan, simulasi dan implementasi sistem modulasi dan demodulasi GMSK pada modul WARP. *Flowchart* digunakan untuk mempermudah proses perancangan dan implementasi sistem dan menjelaskan garis besar dari penelitian yang dilakukan pada Tugas Akhir.

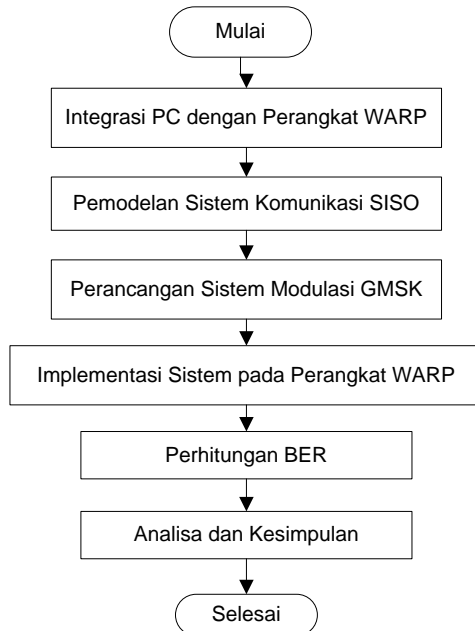
#### 3.1 Alur Perancangan Sistem

Dalam melakukan perancangan sistem perlu dilakukan beberapa tahapan diantaranya integrasi antara PC dengan perangkat WARP, pemodelan sistem komunikasi SISO dengan teknik modulasi GMSK. Perancangan modulasi dan demodulasi GMSK dilakukan dengan *software* MATLAB dimana parameter-parameter yang mempengaruhi modulasi demodulasi GMSK telah ditentukan sebelumnya. Kemudian sistem tersebut diimplementasikan pada modul WARP secara *real time*. Hasil dari implementasi yang akan di analisa adalah nilai BER yang nantinya akan menunjukkan kinerja sistem yang telah dirancang. Alur perancangan sistem ditunjukkan pada Gambar 3.1.



**Gambar 3. 1** Diagram Alir Modulasi dan Demodulasi GMSK

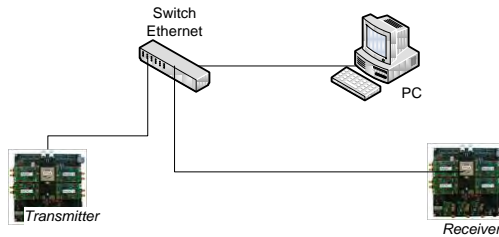




**Gambar 3. 2** Alur Perancangan Sistem

### 3.2 Integrasi Matlab dengan Perangkat WARP

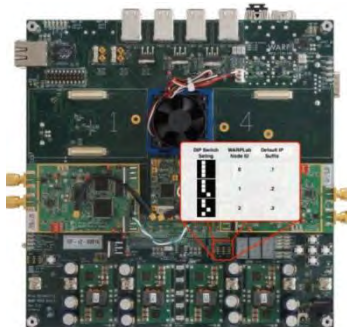
Pada Tugas Akhir ini menggunakan perangkat WARP V.2 dengan WARP Lab7 untuk mengimplementasikan sistem yang telah dirancang. Agar sistem dapat diimplementasi, langkah pertama yang harus dilakukan adalah mengintegrasikan antara PC dengan perangkat WARP. Jumlah yang digunakan dalam implementasi sistem adalah 2 buah perangkat WARP dimana satu perangkat berfungsi sebagai *transmitter* dan perangkat lainnya berfungsi sebagai *receiver*, 1 buah *Ethernet switch* dan sebuah perangkat PC. Integrasi antara PC dengan perangkat WARP ditunjukkan pada Gambar 3.3



**Gambar 3. 3** Integrasi PC dengan Perangkat WARP

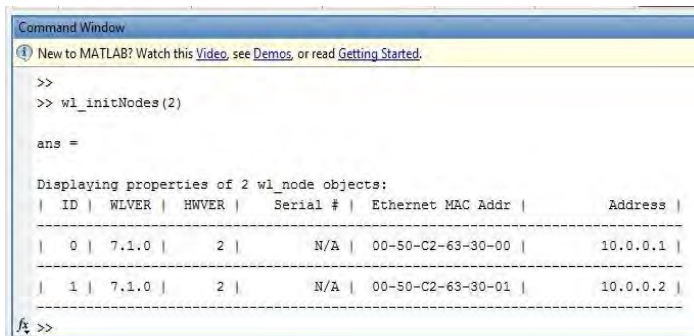
Adapun langkah-langkah pengintegrasian PC dengan WARP adalah sebagai berikut:

1. Menghubungkan PC dan perangkat WARP melalui *switch* dengan menggunakan kabel LAN.
2. Mengatur nomor IP pada PC agar dapat terhubung dengan WARP dengan konfigurasi IP address 10.0.0.xx dan subnet mask 255.255.255.0
3. Mengatur *routing* ARP pada *Command Prompt* dengan masuk sebagai administrator.
4. Mengatur nomor IP pada modul WARP pertama menjadi 10.0.0.1 yang akan dijadikan sebagai *transmitter*, nomor IP untuk modul WARP kedua adalah 10.0.0.2 yang akan dijadikan sebagai *receiver*. Pengaturan dilakukan dengan cara mengatur *dipswitch* seperti Gambar 3.4



**Gambar 3. 4** Pengaturan *Dipswitch* WARP

5. Memeriksa koneksi antara PC dengan WARP dengan cara melakukan *ping* IP Address masing-masing node pada *command prompt* untuk mengetahui apakah PC telah terhubung dengan perangkat WARP.
6. Melakukan koneksi antara *software* dengan perangkat WARP dengan cara pengesetan *wl\_setup*. Untuk memastikan *software* MATLAB telah terhubung dengan perangkat WARP ditunjukkan pada Gambar 3.5



```

Command Window
New to MATLAB? Watch this Video, see Demos, or read Getting Started.

>>
>> wl_initNodes(2)

ans =

Displaying properties of 2 wl_node objects:
| ID | WLVPR | HWVPR | Serial # | Ethernet MAC Addr | Address |
-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0 | 7.1.0 | 2 | N/A | 00-50-C2-63-30-00 | 10.0.0.1 |
| 1 | 7.1.0 | 2 | N/A | 00-50-C2-63-30-01 | 10.0.0.2 |

```

**Gambar 3. 5** Tampilan *software* telah terkoneksi dengan WARP

### 3.3 Implementasi Sistem

Pada Tugas Akhir ini mengimplementasikan sistem komunikasi SISO dengan menggunakan teknik modulasi GMSK. Proses pemrograman sistem modulasi demodulasi GMSK dilakukan pada *software* MATLAB 2012a dan implementasinya diterapkan pada perangkat WARP melalui WARPLab. Dalam pengimplementasian sistem menggunakan beberapa parameter yang diatur pada program MATLAB, diantaranya:

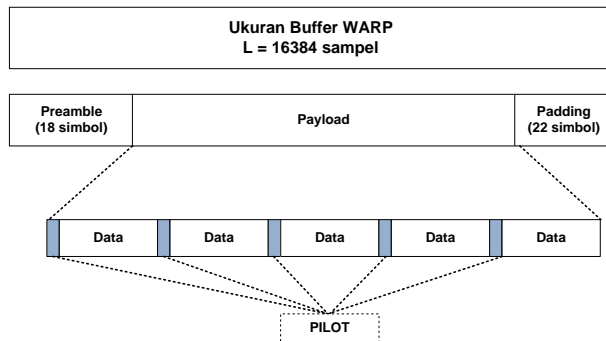
Parameter yang digunakan untuk filter *Squared Root Raised Cosine* (SRRC) adalah sebagai berikut:

- Filter Orde : 64
- *Roll of factor* : 0.3
- *Upsample* : 8

Sedangkan parameter pada perangkat WARP adalah sebagai berikut:

- Tx gain RF : 0 - 60
- Tx gain Baseband : 1
- Rx gain RF : 1
- Rx gain BB : 13
- Frekuensi *upconvert* : 5 MHz
- Frekuensi *downconvert* : 5 MHz
- Frekuensi sampling WARP : 40 MHz

Modul WARP memiliki batasan untuk *buffer* IQ sebesar  $2^{14}$  sampel atau sebanyak 16384 sampel dalam sekali pengiriman data. Jika data yang akan dikirimkan melebihi 16384 sample, maka data tersebut akan dibagi menjadi beberapa frame dan akan dikirimkan secara berulang sesuai jumlah frame yang dihasilkan. Gambar 3.6 menunjukkan desain frame data yang dikirimkan melalui modul WARP:



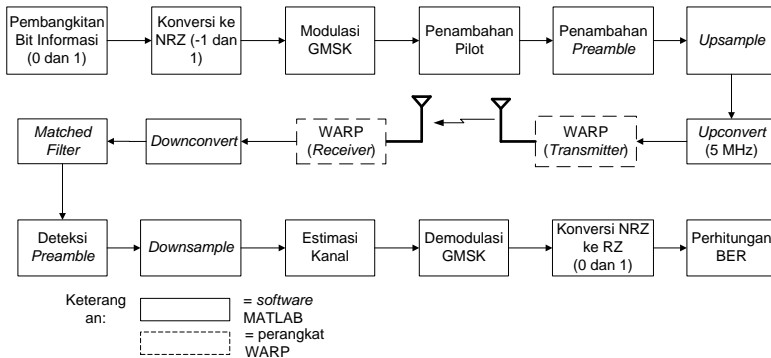
**Gambar 3. 6** Desain Frame Data yang dikirimkan WARP

Adapun proses-proses yang dilakukan untuk mengimplementasikan sistem pada perangkat WARP:

### 1. Pembangkitan Bit Informasi

Proses awal dimulai dengan pembangkitan bit informasi secara acak melalui *software* MATLAB. Bit informasi yang dibangkitkan sejumlah  $n$  data dan berjenis RZ (0 dan 1). Selanjutnya bit RZ tersebut dikonversikan ke bentuk NRZ (-1 dan 1). Sebelum masuk ke modulasi

GMSK, bit NRZ dibagi menjadi beberapa frame agar dapat dikirimkan melalui perangkat WARP



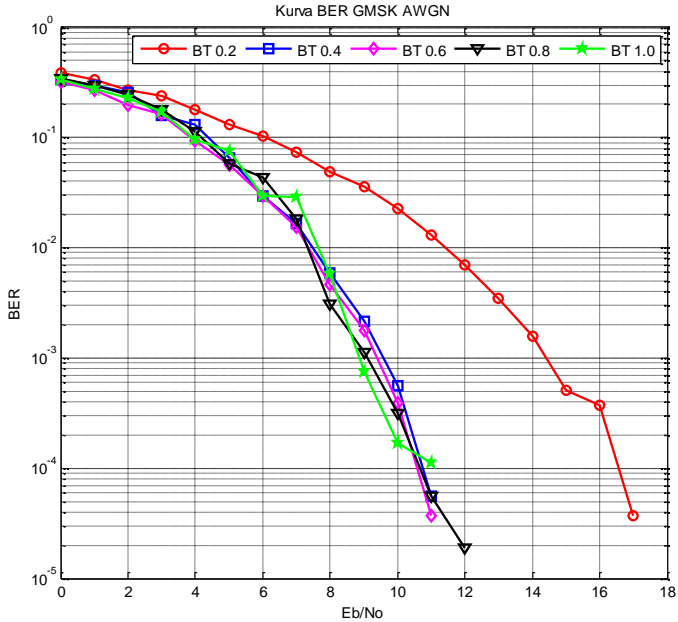
**Gambar 3. 7** Blok Diagram Sistem Komunikasi SISO dengan Modulasi GMSK

## 2. Modulasi GMSK

Bit NRZ yang telah dibagi per-frame, kemudian dimodulasi dengan menggunakan teknik modulasi GMSK. Setiap bit NRZ tersebut dikonvolusi dengan *filter Gaussian* dengan bentuk persamaan seperti persamaan 2.1. Pada persamaan 2.1 terdapat parameter BT dimana merupakan nilai dari Bit Periode yang berkisar antara 0 – 1. Pada Tugas Akhir ini, nilai BT yang digunakan adalah 0.2 – 0.4 – 0.6 – 0.8 – 1. Sebelum sistem diimplementasikan pada perangkat WARP, dilakukan simulasi terlebih dahulu pada *software* MATLAB 2012. Simulasi dilakukan dengan cara melewati sistem pada kanal AWGN, dimana nantinya hasil dari simulasi bisa dijadikan sebagai acuan dan dibandingkan dengan hasil pengukuran pada kanal riil. Gambar 3.8 menunjukkan kurva BER GMSK yang dilewatkan pada kanal AWGN, dimana pada kurva tersebut dijelaskan bahwa ketika BT = 0.2 memiliki BER yang paling besar dibandingkan nilai BT lainnya. Seperti yang telah dijelaskan pada Bab 2, nilai BT yang terlalu kecil dapat menyebabkan terjadinya *Intersymbol Interference*. Sedangkan untuk nilai BT = 0.4, 0.6, 0.8 dan 1.0 memiliki nilai BER yang hampir mendekati sama.

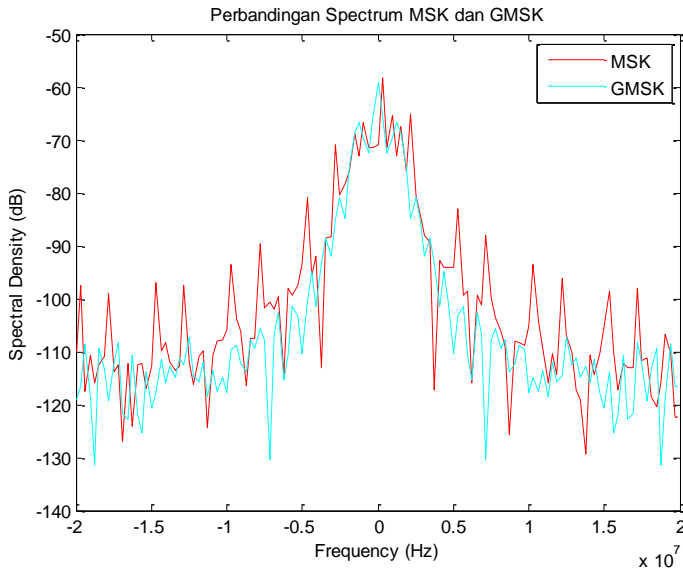
Setelah itu hasil konvolusi dengan *filter Gaussian* akan diintegrasikan untuk menghitung nilai fasa. Nilai fase menentukan nilai

dari *Inphase* dan *Quadrature* dengan menggunakan persamaan 2.2 dan 2.3. Kemudian sinyal *Inphase* dan *Quadrature* digabungkan kembali sebelum dikirimkan seperti pada persamaan 2.4.



**Gambar 3. 8** Kurva BER GMSK pada kanal AWGN

Seperti yang telah dijelaskan pada Bab 2 sebelumnya, bahwa modulasi GMSK merupakan pengembangan dari modulasi MSK dimana modulasi ini bertujuan untuk mengurangi *side-lobe* pada modulasi GMSK. Gambar 3.9 menunjukkan perbandingan *side-lobe* pada modulasi MSK dan GMSK yang diperoleh melalui simulasi. Terlihat bahwa *side-lobe* modulasi GMSK lebih kecil dibandingkan modulasi MSK. Pada modulasi MSK besarnya *side-lobe* sebesar 20 dB, sedangkan dengan modulasi GMSK *side-lobe* menjadi lebih kecil yaitu sebesar 38 dB.



**Gambar 3. 9** Perbandingan Spektrum Sinyal modulasi MSK dengan modulasi GMSK

### 3. Penambahan Pilot

Deretan simbol hasil modulasi GMSK ditambahkan dengan simbol pilot yang terletak di awal data. Simbol pilot ini bertujuan sebagai respon estimasi kanal di penerima. Penambahan simbol ini diletakkan setiap 9 simbol data secara periodik. Susunan simbol pilot dan simbol data ditunjukkan sebagai berikut:

$p_0$	$s_1 - s_9$	$p_1$	$s_{10} - s_{18}$	.....	$p_i$	$s_{n-9} - s_n$
-------	-------------	-------	-------------------	-------	-------	-----------------

### 4. Penambahan Preamble

Penambahan preamble dilakukan setelah penambahan pilot pada simbol data. Penambahan preamble bertujuan untuk mendeteksi data awal di penerima. Pada Tugas Akhir ini, preamble yang digunakan sebanyak 18 simbol dengan rincian sebagai berikut 1+1i 1+1i 1+1i 0 0 0 -1-1i -1-1i -1-1i 0 1+0i 1+0i 1+0i 0 0 0 0. Susunan simbol preamble ditunjukkan sebagai berikut:

$pr_1, pr_2, pr_3, pr_4, \dots, pr_{18}$	$p_0$	$s_1 - s_9$	...	$p_i$	$s_{n-9} - s_n$
--	-------	-------------	-----	-------	-----------------

## 5. Upsample

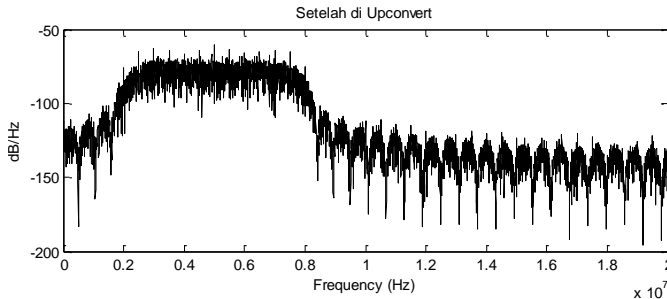
Proses selanjutnya adalah *upsample*. *Upsample* ini bertujuan untuk meningkatkan sampling rate data yang dikirimkan. Pada proses ini simbol akan di *upsample* sebanyak 8 kali kemudian akan difilter dengan menggunakan filter *Squared Root Raised Cosine* (SRRC). Pada Tugas Akhir ini parameter dari filter SRRC yang digunakan adalah nilai *roll of factor* sebesar 0.3 dan orde filter sebesar 64.

## 6. Upconvert

Sebelum dikirimkan melalui WARP, data yang akan dikirimkan harus melalui proses *upconvert* terlebih dahulu. *Upconvert* ini bertujuan untuk menghindari pelemahan dari radio DC. Proses *upconvert* dilakukan dengan mengalikan sinyal terhadap frekuensi sinusoidal kompleks seperti ditunjukkan pada persamaan 3.1

$$\exp(\sqrt{-1}x2\pi f_c t) \quad (3.1)$$

dimana  $f_c$  adalah frekuensi sampling 5 MHz dan  $t$  adalah waktu.

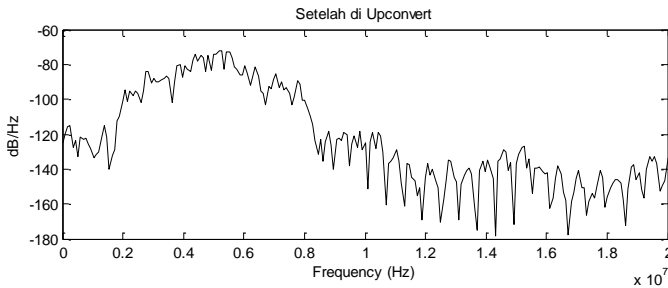


**Gambar 3. 10** Spektrum Sinyal GMSK dengan BT = 1.0 setelah di *upconvert*

Gambar 3.10 menunjukkan spektrum sinyal GMSK yang telah mengalami proses *upconvert* dan pada Gambar 3.11 menunjukkan spektrum sinyal modulasi MSK yang telah mengalami proses *upconvert*. Berdasarkan pada Bab 2, *side-lobe* pada modulasi MSK seharusnya lebih tinggi dibandingkan modulasi GMSK. Namun untuk modulasi GMSK yang mengalami proses *upconvert* yang sama dengan GMSK



maka sinyal hasil *upconvert* dari modulasi MSK mendekati sama dengan GMSK.



**Gambar 3. 11** Spektrum Sinyal MSK setelah di *upconvert*

## 7. Pengiriman melalui WARP

Proses pengiriman data yang terjadi pada perangkat WARP adalah sebagai berikut sinyal data yang telah di bagi menjadi beberapa frame dikirimkan dan di simpan pada *buffer Tx* melalui *Ethernet*. Kemudian dilakukan persiapan pengiriman dan penerimaan data dengan menyalakan radio pada *node* pengirim dan penerima. Proses komunikasi dilakukan dengan mengirimkan sebuah paket ‘*Trigger*’ kepada semua *node* secara bersamaan. Ketika sebuah *node* memiliki *transmitter* pada kondisi enable, maka *node* tersebut akan memancarkan sinyal yang terdapat pada *buffer*. Jika sebuah *node* berkerja pada kondisi *receive* enable, maka *node* tersebut akan bersiap menerima sinyal pada kanal Wi-Fi tertentu. Pada *node Rx*, pengambilan data dilakukan dengan cara mengambil data yang diterima pada *buffer node Rx*. Kemudian data yang masih terbagi dalam *frame* akan digabungkan kembali sesuai dengan data awal yang dikirimkan.

## 8. Downconvert

Di penerima, sinyal yang diterima WARP harus melalui proses *downconvert* terlebih dahulu. Proses *downconvert* ini bertujuan untuk mengembalikan ke frekuensi baseband semula. Proses ini dilakukan dengan mengalikan sinyal yang diterima dengan konjugat dari frekuensi *upconvert* sebagai berikut:

$$\exp (-\sqrt{-1}x2\pi f_c t) \quad (3. 2)$$

dimana  $f_c$  adalah frekuensi sampling 5 MHz dan  $t$  adalah waktu.

## 9. Matched Filter

Proses *matched filter* bertujuan untuk menghilangkan frekuensi tinggi yang dihasilkan dari *downconvert* dan agar sesuai dengan bentuk pulsa *raise cosine* di pengirim.

## 10. Deteksi Preamble dan Downsample

Deteksi *preamble* bertujuan untuk menentukan posisi pertama dari simbol yang dikirimkan. Deteksi *preamble* ini dilakukan berdasarkan korelasi tertinggi antara sampel sinyal yang diterima dengan sampel *preamble* dengan *reference matrix* yang telah di *generate* pada penerima. Kemudian sinyal di *downsample* dengan jumlah sampel sebanyak 8 sesuai dengan jumlah sampel pada proses *upsample*.

## 11. Estimasi Kanal

Proses estimasi kanal dilakukan dengan cara memisahkan simbol pilot (CSI) yang telah diletakkan sebelumnya di *transmitter* dengan *received signals* ( $r$ ). CSI (*channel information state*) adalah respon kanal hasil estimasi di penerima untuk memperoleh simbol estimasi. Simbol estimasi ( $\hat{s}$ ), diperoleh dengan perkalian antar sinyal yang diterima ( $r$ ) dengan konjugat respon kanal ( $h^*$ ) dibagi dengan kuadrat magnitudo ( $h$ ) yang ditunjukkan pada persamaan berikut :

$$\begin{aligned} r &= s \times h \\ h^* \times r &= s \times h \times h^* \\ h^* \times r &= s \times |h|^2 \\ \hat{s} &= \frac{r \times h^*}{|h|^2} \end{aligned} \quad (3.3)$$

## 12. Demodulasi GMSK

Setelah melalui proses estimasi kanal, sinyal yang diterima pada demodulator GMSK akan dipisahkan terlebih dahulu menjadi bagian *Inphase* dan *Quadrature*. Masing-masing bagian *Inphase* dan *Quadrature* dikonvolusikan dengan filter Gaussian. Setelah itu di *downsample* dengan frekuensi sampling GMSK, output dari hasil

sampling tersebut digabungkan dan didapatkan output berupa bit informasi seperti yang dikirimkan di awal.

### 13. Perhitungan BER

Perhitungan BER (*Bit Error Rate*) dilakukan dengan membandingkan bit yang dibangkitkan di *transmitter* dengan bit yang diterima di *receiver*.

$$BER = \frac{\text{jumlah bit yang diterima}}{\text{jumlah bit yang dikirimkan}}$$

### 3.4 Metode Pengukuran

Pada Tugas Akhir ini, pengukuran dari implementasi sistem modulasi dan demodulasi GMSK dilakukan pada kondisi lingkungan yang berbeda yaitu lingkungan *indoor* dan lingkungan *outdoor*. Selain kondisi lingkungan *indoor* dan *outdoor*, pengukuran juga dilakukan dengan kondisi LOS (*Line of Sight*) atau tanpa penghalang dan NLOS (*No Line of Sight*) atau dengan penghalang. Berbagai macam pengukuran dilakukan untuk membandingkan kinerja sistem komunikasi SISO dengan metode teknik modulasi GMSK pada lingkungan yang berbeda.

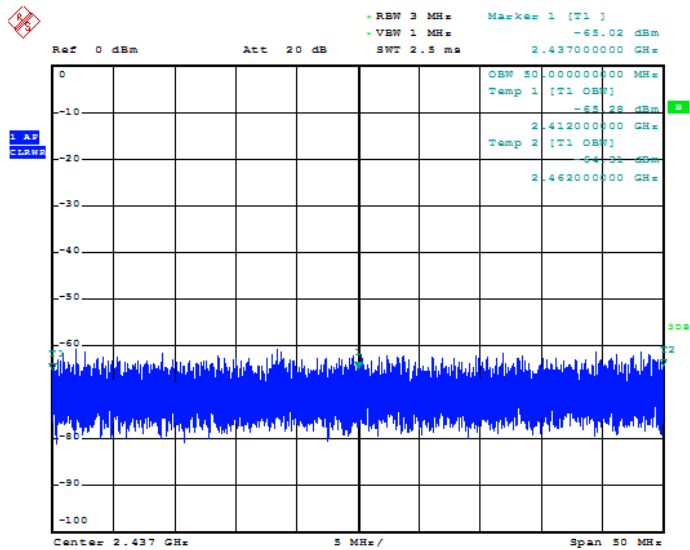
Pada pengukuran, terdapat kriteria – kriteria yang digunakan untuk mengetahui kinerja sistem komunikasi SISO dengan teknik modulasi GMSK menggunakan WARP. Parameter yang digunakan dalam pengukuran antara lain:

- Jumlah bit : 106800
- Frek. Upsampling GMSK : 1
- Frekuensi *upconvert* : 5 MHz
- Simbol *Preamble* : 18 simbol
- Simbol Pilot : setiap 9 simbol

Untuk parameter lain seperti filter *Squared Root Raised Cosine* (SRRC) dan *level gain setting* WARP telah disebutkan sebelumnya.

Pengukuran dilakukan dengan cara menghubungkan perangkat WARP dengan sebuah PC. Jumlah perangkat WARP yang digunakan adalah 2 dimana satu berfungsi sebagai pengirim dan lainnya berfungsi sebagai penerima. Modul WARP dan PC dihubungkan ke sebuah *switch Ethernet* dengan menggunakan kabel LAN. Pada perangkat WARP yang digunakan terdapat 2 *Radio Board* (RF A dan RF B) dimana masing-masing *Radio Board* terdapat 2 port antenna yang terpasang. Pada Tugas

Akhir ini menggunakan komunikasi SISO (*Single Input Single Output*) dimana hanya ada 1 antenna yang bekerja di pengirim ataupun penerima maka pada perangkat WARP yang digunakan hanya *Radio Board A* yang bekerja. Pada port antenna *Radio Board B* yang tidak digunakan tetap dihubungkan dengan antenna untuk mencegah terjadinya kerusakan pada perangkat dikarenakan jika port tetap terbuka sehingga menjadi *open circuit*.



**Gambar 3. 12** Hasil Pengukuran pada *Spektrum Analyzer* untuk *Radio Board* yang tidak digunakan.

Untuk membuktikan bahwa pada *Radio Board B* yang tidak bekerja tidak memancarkan atau mengganggu antenna pada *Radio Board A*, maka port antenna *Radio Board B* dihubungkan pada *Spectrum Analyzer*. Gambar 3.12 menunjukkan hasil pengukuran port antenna *Radio Board B* pada *Spectrum Analyzer* dimana terbukti bahwa tidak ada sinyal yang dikirimkan pada *Radio Board B* sehingga antenna pada *Radio Board B* tidak berpengaruh.

### 3.4.1 Pengukuran pada Lingkungan *Indoor*

Pengukuran lingkungan *indoor* dilakukan di ruang B304 Laboratorium Telekomunikasi Multimedia jurusan Teknik Elektro. Jarak yang digunakan pada pengukuran adalah 4 m, 5 m dan 6 m untuk kondisi LOS dan NLOS. Obstacle yang digunakan pada pengukuran adalah berupa jaring kawat.



**Gambar 3. 13** Pengukuran Lingkungan *Indoor* Kondisi LOS



**Gambar 3. 14** Pengukuran Lingkungan *Indoor* Kondisi NLOS

### 3.4.2 Pengukuran pada Lingkungan *Outdoor*

Pengukuran lingkungan *outdoor* dilakukan di area parkir mobil dosen Jurusan Teknik Elektro. Jarak yang digunakan pada pengukuran lingkungan *outdoor* adalah 4 m, 5 m dan 6 meter. Pengukuran *outdoor* juga dilakukan pada kondisi LOS dan NLOS.



**Gambar 3. 15** Pengukuran Lingkungan *Outdoor* Kondisi LOS



**Gambar 3. 16** Pengukuran Lingkungan *Outdoor* Kondisi NLOS

*[ Halaman ini sengaja dikosongkan ]*

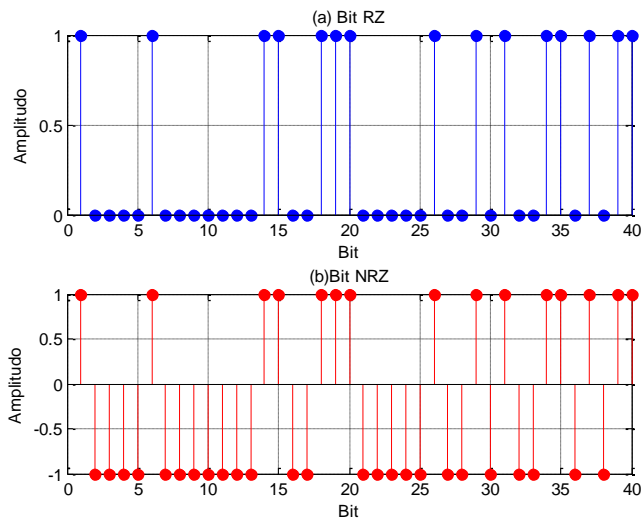
## BAB IV

### PENGUJIAN DAN ANALISA SISTEM

Pada Bab IV berisi hasil pengukuran dan analisa dari implementasi sistem komunikasi dengan teknik modulasi GMSK menggunakan *Wireless Open Access Research Platform (WARP)*. Proses analisa diawali dengan menganalisa proses yang ada di pengirim dan penerima. Selanjutnya, proses analisa kerja dilakukan dengan membandingkan *Bit Error Rate (BER)* pada lingkungan *indoor* dan *outdoor*.

#### 4.1 Analisa Sistem Komunikasi SISO

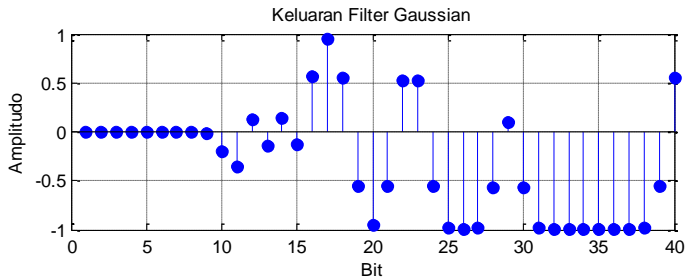
Informasi yang akan dikirimkan pada implementasi sistem komunikasi SISO dengan teknik modulasi GMSK akan melalui beberapa tahap sebelum dikirimkan melalui WARP dan setelah diterima di *node* penerima. Proses awal yang dilakukan adalah membangkitkan bit informasi secara acak berupa bit 0 dan 1. Kemudian bit 0 dan 1 tersebut dikonversikan ke bentuk NRZ sebelum melalui proses modulasi GMSK. Hasil pembangkitan bit dan konversi bit RZ ke NRZ ditunjukkan pada Gambar 4.1



**Gambar 4. 1** Pembangkitan Bit Informasi

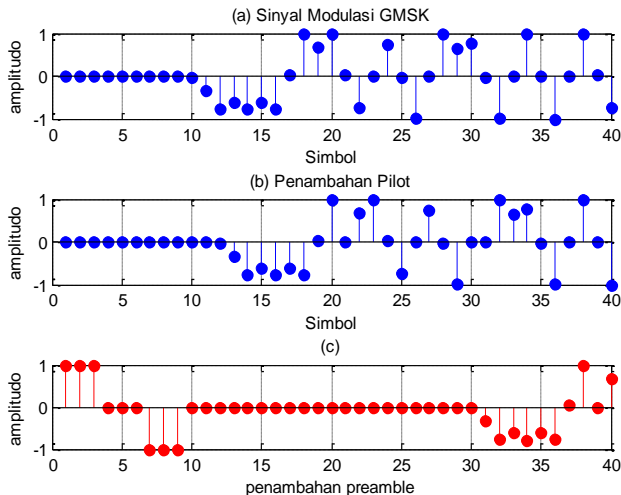


Selanjutnya bit NRZ tersebut di konvolusikan dengan filter Gaussian seperti pada persamaan (2.1), hasil konvolusi dapat dilihat pada Gambar 4.2.



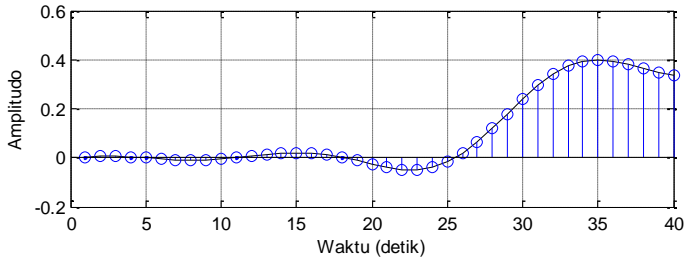
**Gambar 4. 2** Keluaran Filter Gaussian

Setelah proses konvolusi, sinyal informasi tersebut dibagi berdasarkan fase menjadi bagian Inphase untuk bagian real dan Quadrature untuk bagian imajiner. Selanjutnya, sinyal tersebut digabungkan kembali seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.3 (a). Langkah selanjutnya adalah penambahan pilot dan *preamble* pada sinyal hasil modulasi GMSK sebelum dikirimkan melalui WARP. Hasil penambahan pilot dan *preamble* ditunjukkan pada Gambar 4.3 bagian (b) dan (c).



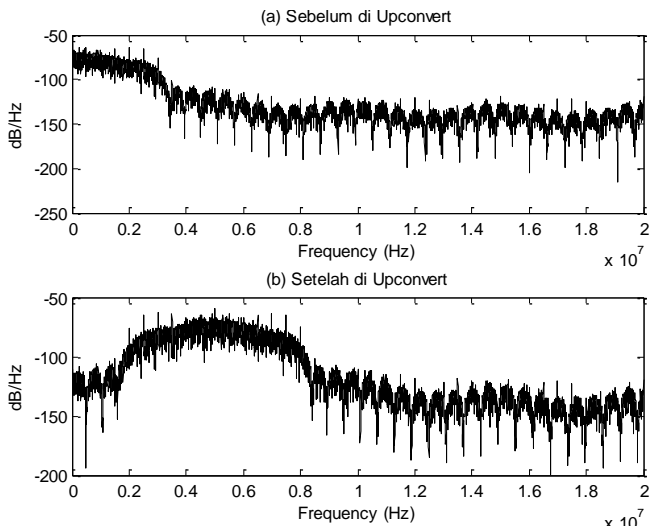
**Gambar 4. 3** Penambahan pilot dan preamble

Proses selanjutnya adalah proses *upsample* dimana simbol yang telah ditambahkan pilot dan *preamble* tersebut dilakukan proses *upsample* sebanyak 8 kali dan dilewatkan melalui filter *Squared Root Raised Cosine* (SRRC).

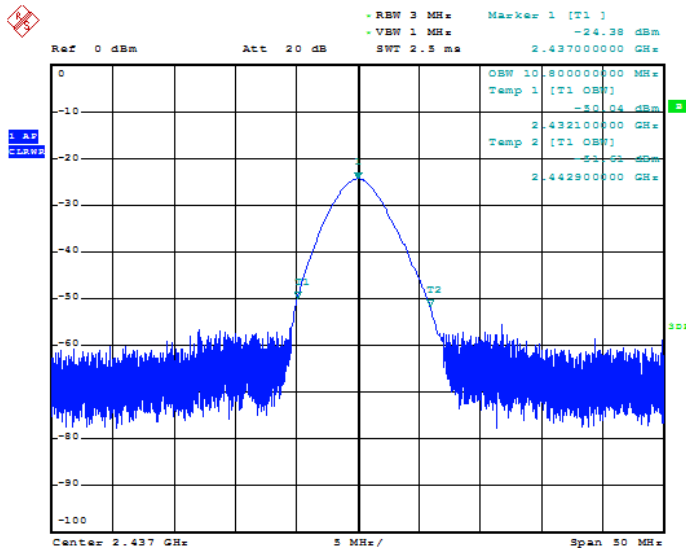


**Gambar 4. 4** Sinyal Keluaran Filter SRRC (*Squared Root Raised Cosine*)

Kemudian sinyal mengalami proses *upconvert* ke frekuensi yang lebih tinggi yaitu dari 0 MHz ke 5 MHz. Proses ini dilakukan untuk menghindari pelemahan dari radio DC.



**Gambar 4. 5** (a) Spektrum Sinyal Sebelum di *Upconvert* dengan nilai BT =0.2 (b) Spektrum Sinyal Setelah di *Upconvert* dengan nilai BT =0.2

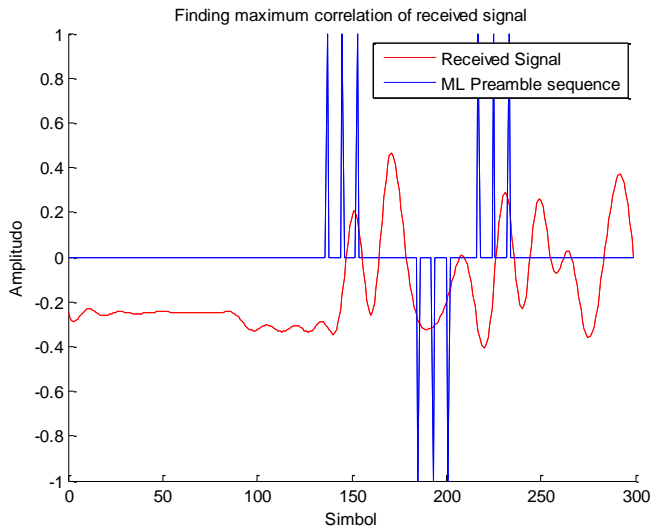


**Gambar 4. 6** Hasil Pengukuran Spektrum Sinyal GMSK dengan BT = 0.2 TxRF = -24.38 dBm pada *Spectrum Analyzer* di pemancar.

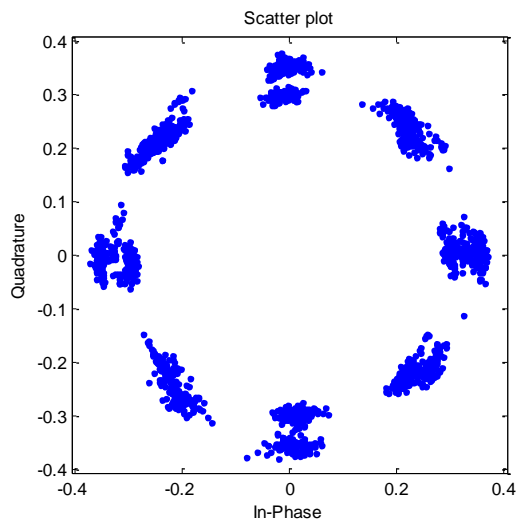
Pada penerima, sinyal yang diterima melalui proses *downconvert* terlebih dahulu. Selanjutnya dilakukan proses *matched filter*, dimana frekuensi tinggi yang dihasilkan dari proses *downconvert* akan dihilangkan. Setelah itu dilakukan proses pendeteksian simbol pertama menggunakan *preamble* dengan cara melihat korelasi tertinggi terhadap *preamble*. Pendeteksian *preamble* dapat dilihat pada Gambar 4.7.

*Downsample* dilakukan setelah mendapat posisi *preamble* berdasarkan nilai korelasi tertinggi. Sinyal di *downsample* dengan jumlah yang sama dengan *upsample* yaitu sejumlah 8 sampel. Proses selanjutnya adalah pendeteksian simbol. Dan menghilangkan simbol pilot. Selanjutnya, simbol di demodulasi untuk mendapat bit yang sama dengan bit yang dikirim oleh *node* pengirim sebelumnya.

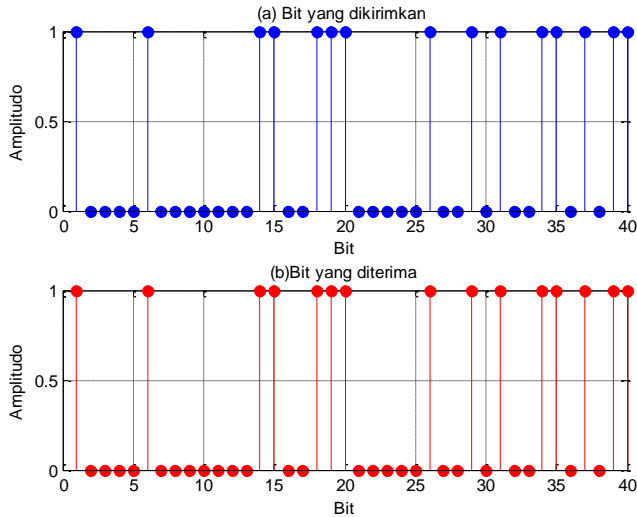
Diagram konstelasi di penerima yang ditunjukkan pada Gambar 4.8 sudah menyerupai dengan diagram konstelasi di pengirim pada Gambar 2.5. Namun dikarenakan selama pengiriman sinyal terdapat noise maka diagram konstelasi di penerima menjadi lebih lebar dan jarak sinyal pada diagram konstelasi menjadi lebih kecil.



**Gambar 4. 7** Pendeteksian Simbol Preamble



**Gambar 4. 8** Diagram Konstelasi GMSK di Penerima



**Gambar 4. 9** Perbandingan Bit yang Dikirimkan dan Bit yang Diterima

## 4.2 Analisa Hasil Pengukuran

Pengujian dan pengukuran kinerja dari sistem modulasi yang telah dibuat dilakukan pada lingkungan *indoor* dan *outdoor*. Lokasi pengukuran dilakukan di Jurusan Teknik Elektro Kampus ITS Surabaya.

### 4.2.1 Analisa Hasil Pengukuran pada Lingkungan *Indoor*

Pengukuran di lingkungan *indoor* dilakukan di ruang B304 Laboratorium Telekomunikasi Multimedia Jurusan Teknik Elektro. Pengukuran *indoor* dilakukan dengan mengubah jarak antar *node* pengirim dan penerima di mulai dengan jarak 4 meter, 5 meter dan 6 meter. Untuk setiap jarak pada pengukuran, juga dilakukan pengujian untuk setiap nilai BT yaitu 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 dan 1.0. Selain itu, pengukuran juga dilakukan dengan kondisi LOS (*Line of Sight*) atau tanpa halangan dan kondisi NLOS (*No Line of Sight*) atau dengan penghalang.

Kinerja sistem yang diuji pada pengukuran ini adalah nilai dari *Bit Error Rate* (BER) dimana berdasarkan teori semakin jauh jarak antar *node* maka nilai BER yang dihasilkan akan semakin besar dan semakin besar daya yang dipancarkan, nilai BER yang dihasilkan akan semakin kecil.

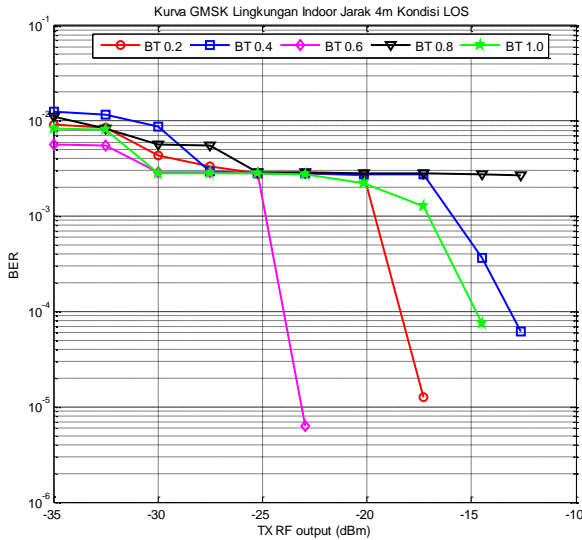
**a. Jarak 4 meter**

Hasil pengukuran BER pada jarak 4 meter untuk kondisi LOS ditunjukkan pada Tabel 4.1 dan Gambar 4.10.

Berdasarkan data pengukuran pada kondisi LOS, nilai BT = 0.6 memiliki kinerja yang paling bagus yaitu dengan TxRF sebesar -20.35 dBm sudah mendapat nilai BER sama dengan nol yang artinya tidak adanya error data selama pengiriman. Sedangkan untuk nilai BT yang lain diperlukan nilai TxRF yang lebih besar untuk mendapatkan BER sama dengan nol. Namun berdasarkan teori, semakin besar nilai BT, maka nilai BER akan semakin kecil. Nilai BT semakin kecil akan menyebabkan efek ISI (*Intersymbol Interference*). Berdasarkan teori, BT = 1 seharusnya memiliki nilai pengukuran yang lebih baik dibandingkan BT = 0.6, namun terkadang data yang didapatkan melalui hasil pengukuran terkadang tidak sesuai dengan teori. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor seperti kondisi lingkungan selama pengukuran, kanal yang digunakan dan kondisi perangkat yang digunakan.

**Tabel 4. 1** Nilai BER pada Jarak 4m Lingkungan *Indoor* Kondisi LOS

TxRF (dBm)	Bit Error Rate (BER)				
	BT = 0.2	BT = 0.4	BT = 0.6	BT = 0.8	BT = 1.0
-36.10	0.009151	0.012522	0.005708	0.011205	0.008355
-33.48	0.008439	0.011573	0.005581	0.008249	0.008112
-30.85	0.004338	0.008674	0.002900	0.005590	0.002828
-28.22	0.003343	0.002924	0.002865	0.005471	0.002821
-25.60	0.002843	0.002831	0.002825	0.002868	0.002818
-22.97	0.002840	0.002803	0.000006	0.002862	0.002781
-20.35	0.002687	0.002768	0	0.002800	0.002200
-17.72	0.000012	0.002725	0	0.002793	0.001280
-15	0	0.000368	0	0.002734	0.000075
-12.47	0	0.000062	0	0.002712	0
-9.84	0	0	0	0	0
-7.22	0	0	0	0	0
-4.59	0	0	0	0	0



**Gambar 4. 10** Grafik BER GMSK Jarak 4m Lingkungan *Indoor* pada Kondisi LOS

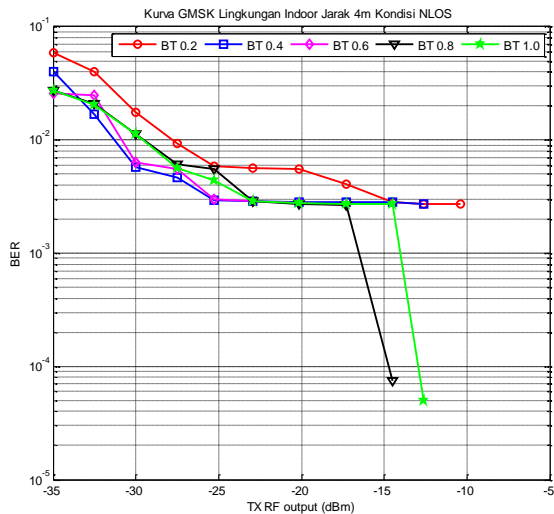
Hasil pengukuran BER pada jarak 4 meter untuk kondisi NLOS ditunjukkan pada Tabel 4.2 dan Gambar 4.11.

Berdasarkan data pengukuran BER pada kondisi NLOS, nilai BT = 0.6 memiliki kinerja yang paling bagus yaitu dengan TxRF sebesar -15 dBm nilai BER yang dihasilkan adalah 0. Sedangkan untuk nilai BT yang lainnya memerlukan nilai TxRF yang lebih besar agar nilai BER sama dengan nol.

Jika data pengukuran pada kondisi LOS dan NLOS dibandingkan, nilai BER yang dihasilkan pada kondisi LOS lebih baik dibandingkan NLOS. Untuk nilai BT = 0.6, pada kondisi LOS, diperlukan TxRF yang lebih kecil untuk mendapatkan nilai BER sama dengan nol yaitu pada TxRF -20.35 dBm, sedangkan pada kondisi NLOS diperlukan TxRF sebesar -25 dBm. Hal ini disebabkan karena pada kondisi NLOS terdapat penghalang antara *node* pengirim dan *node* penerima yang mengganggu proses pengiriman data.

**Tabel 4. 2** Nilai BER pada Jarak 4m Lingkungan *Indoor* Kondisi NLOS

TxRF (dBm)	Bit Error Rate (BER)				
	BT = 0.2	BT = 0.4	BT = 0.6	BT = 0.8	BT = 1.0
-36.10	0.058449	0.040424	0.025737	0.027085	0.027572
-33.48	0.040484	0.016807	0.024719	0.020961	0.020502
-30.85	0.017388	0.005758	0.006298	0.011305	0.011189
-28.22	0.009341	0.004613	0.005543	0.006096	0.005602
-25.60	0.005840	0.002912	0.002968	0.005543	0.004376
-22.97	0.005646	0.002893	0.002859	0.002859	0.002853
-20.35	0.005552	0.002831	0.002787	0.002694	0.002775
-17.72	0.004086	0.002828	0.002678	0.002690	0.002722
-15	0.002837	0.002809	0	0.000075	0.002718
-12.47	0.002743	0.002694	0	0	0.000050
-9.84	0.002718	0	0	0	0
-7.22	0	0	0	0	0
-4.59	0	0	0	0	0



**Gambar 4. 11** Grafik BER GMSK Jarak 4m Lingkungan *Indoor* pada Kondisi NLOS



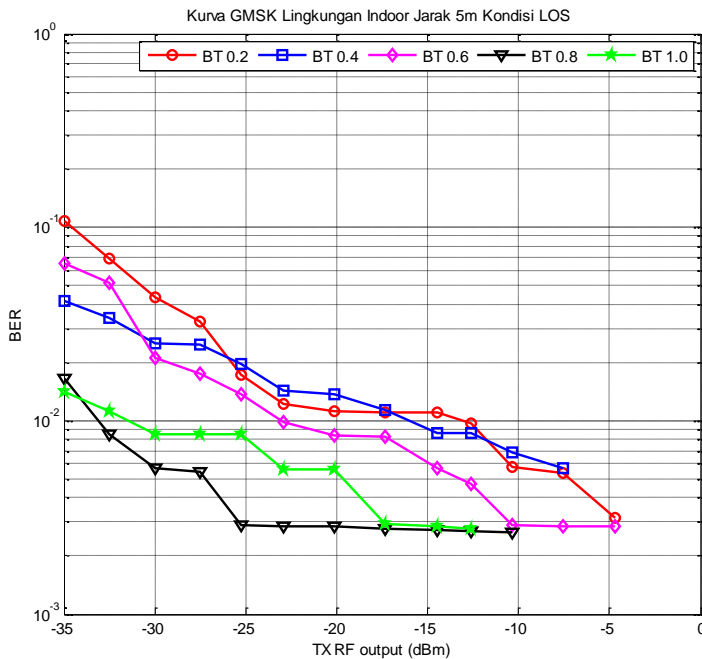
**b. Jarak 5 meter**

Hasil pengukuran BER pada jarak 5 meter untuk kondisi LOS ditunjukkan pada Tabel 4.3 dan Gambar 4.12.

Hasil pengukuran pada kondisi LOS untuk jarak 5 meter, nilai BT = 1.0 memiliki kinerja yang paling baik diantara nilai BT lainnya. Untuk nilai BT = 1.0 memerlukan TxRF sebesar 45 untuk mendapatkan nilai BER sama dengan nol dimana artinya semua data yang dikirim sampai di penerima tanpa terjadinya *error*. Selain itu, data hasil pengukuran diatas hampir mendekati dengan teori yang ada dimana nilai BT =1 menunjukkan kinerja yang lebih baik dibandingkan nilai BT lainnya yang lebih kecil.

**Tabel 4. 3** Nilai BER pada Jarak 5m Lingkungan *Indoor* Kondisi LOS

TxRF (dBm)	Bit Error Rate (BER)				
	BT = 0.2	BT = 0.4	BT = 0.6	BT = 0.8	BT = 1.0
-36.10	0.108021	0.041417	0.064679	0.016532	0.014007
-33.48	0.069360	0.034054	0.051629	0.008486	0.011245
-30.85	0.043496	0.025016	0.021174	0.005693	0.008561
-28.22	0.032335	0.024619	0.017569	0.005446	0.008511
-25.60	0.017250	0.019532	0.013770	0.002903	0.008461
-22.97	0.012122	0.014395	0.009769	0.002856	0.005634
-20.35	0.011205	0.013645	0.008352	0.002843	0.005621
-17.72	0.011039	0.011283	0.008321	0.002762	0.002946
-15	0.011014	0.008686	0.005680	0.002715	0.002853
-12.47	0.009691	0.008620	0.004703	0.002697	0.002759
-9.84	0.005774	0.006891	0.002906	0.002653	0
-7.22	0.005362	0.005646	0.002859	0	0
-4.59	0.003162	0	0.002840	0	0



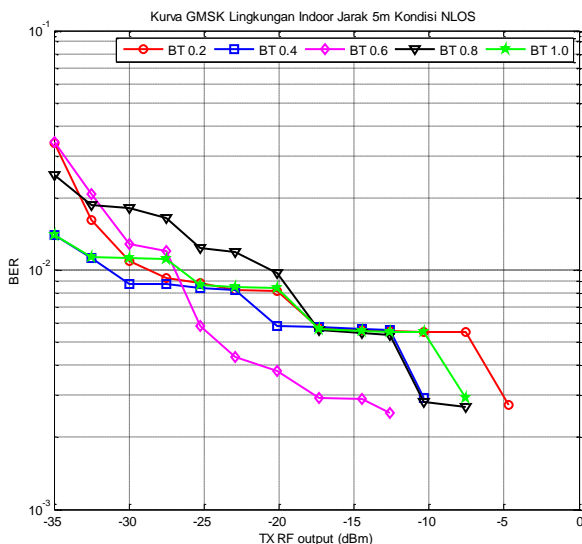
**Gambar 4. 12** Grafik BER GMSK Jarak 5m Lingkungan *Indoor* pada Kondisi LOS

Hasil pengukuran BER pada jarak 5 meter untuk kondisi NLOS ditunjukkan pada Tabel 4.4 dan Gambar 4.13.

Berdasarkan hasil pengukuran pada jarak 5 meter untuk kondisi NLOS, nilai BT = 0.6 menunjukkan kinerja yang paling baik diantara nilai BT lainnya. Nilai BT = 0.6 memerlukan TxRF sebesar -9.84 dBm untuk menghasilkan nilai BER sama dengan nol. Nilai ini berbeda dengan nilai BT pada kondisi LOS. Berdasarkan teori, nilai BT = 1 seharusnya memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan BT = 0.6, tetapi nilai BT memerlukan TxRF maksimal sebesar -4.59 dBm untuk mendapatkan BER sama dengan nol. Hal ini mungkin disebabkan karena kondisi lingkungan selama pengukuran.

**Tabel 4. 4** Nilai BER pada Jarak 5m Lingkungan *Indoor* Kondisi NLOS

TxRF (dBm)	Bit Error Rate (BER)				
	BT = 0.2	BT = 0.4	BT = 0.6	BT = 0.8	BT = 1.0
-36.10	0.033798	0.013942	0.034260	0.024810	0.014017
-33.48	0.016189	0.011177	0.020674	0.018686	0.011301
-30.85	0.010927	0.008745	0.012865	0.018180	0.011258
-28.22	0.009270	0.008723	0.012007	0.016498	0.011105
-25.60	0.008801	0.008380	0.005855	0.012360	0.008617
-22.97	0.008230	0.008271	0.004326	0.011888	0.008511
-20.35	0.008193	0.005830	0.003786	0.009725	0.008411
-17.72	0.005721	0.005774	0.002912	0.005624	0.005690
-15	0.005593	0.005677	0.002906	0.005462	0.005584
-12.47	0.005565	0.005593	0.002522	0.005328	0.005534
-9.84	0.005518	0.002924	0	0.002812	0.005509
-7.22	0.005487	0	0	0.002669	0.002928
-4.59	0.002734	0	0	0	0



**Gambar 4. 13** Grafik BER GSMK Jarak 5m Lingkungan *Indoor* pada Kondisi NLOS

Jika data hasil pengukuran pada kondisi LOS dan NLOS untuk jarak 5 meter, nilai BER yang dihasilkan pada kondisi LOS lebih baik dibandingkan kondisi NLOS. Misal untuk nilai BT =1, pada kondisi LOS diperlukan TxRF sebesar -9.84 dBm untuk mendapatkan nilai BER = 0 sedangkan pada kondisi NLOS memerlukan TxRF yang lebih besar yaitu sebesar -4.59 dBm agar mendapatkan nilai BER sama dengan nol. Hal ini dikarenakan pada kondisi NLOS terdapat penghalang antara pengirim dan penerima sehingga menyebabkan sinyal yang dikirimkan harus mengalami pantulan yang lebih banyak dan mungkin menempuh jarak yang lebih jauh sehingga data yang dikirimkan memiliki *error* yang lebih besar. Oleh karena itu, pengukuran ini sesuai dengan teori yang ada.

### c. Jarak 6 meter

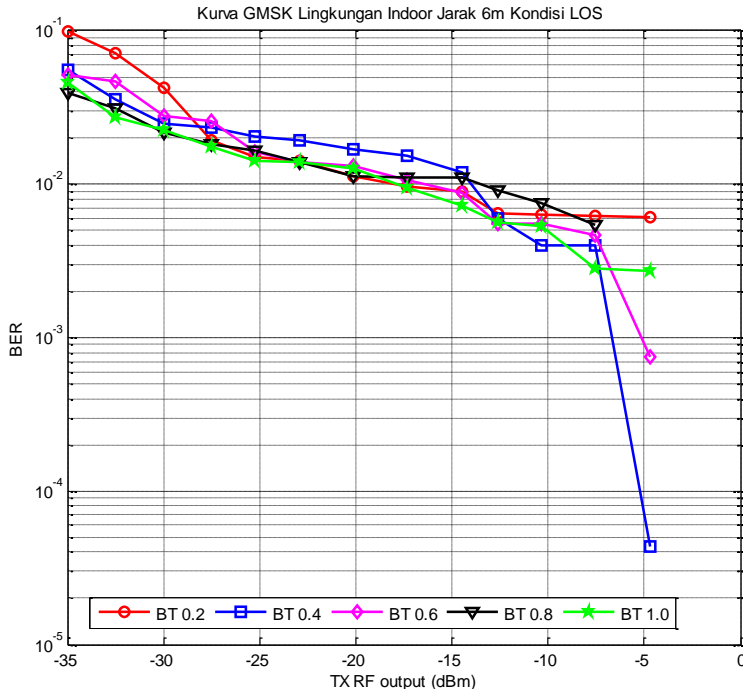
Hasil pengukuran BER pada jarak 6 meter untuk kondisi LOS ditunjukkan pada Tabel 4.5 dan Gambar 4.14:

**Tabel 4. 5** Nilai BER pada Jarak 6m Lingkungan *Indoor* Kondisi LOS

TxRF (dBm)	Bit Error Rate (BER)				
	BT = 0.2	BT = 0.4	BT = 0.6	BT = 0.8	BT = 1.0
-36.10	0.099660	0.055125	0.051679	0.039469	0.045599
-33.48	0.071985	0.036089	0.046929	0.031420	0.027416
-30.85	0.042687	0.024938	0.027953	0.021507	0.022456
-28.22	0.019360	0.023596	0.025718	0.018165	0.017434
-25.60	0.015150	0.020559	0.016155	0.016698	0.014082
-22.97	0.014248	0.019482	0.013842	0.013989	0.013870
-20.35	0.011308	0.016982	0.013105	0.011264	0.012675
-17.72	0.009638	0.015321	0.010568	0.011133	0.009463
-15	0.008948	0.012029	0.008730	0.011108	0.007278
-12.47	0.006507	0.005986	0.005540	0.009117	0.005680
-9.84	0.006330	0.003986	0.005537	0.007572	0.005312
-7.22	0.006252	0.003954	0.004647	0.005471	0.002803
-4.59	0.006111	0.000044	0.000749	0	0.002728

Berdasarkan hasil pengukuran jarak 6 meter pada kondisi LOS, nilai BT = 0.8 memiliki kinerja yang paling baik diantara nilai BT lainnya. Nilai BT = 0.8 masih mampu menghasilkan nilai BER sama dengan nol, namun memerlukan TxRF yang cukup tinggi yaitu sebesar -4.59 dBm.

Hal ini mungkin disebabkan oleh kondisi lingkungan ketika melakukan pengukuran dan benda-benda yang berada di ruangan sehingga menyebabkan banyak pantulan yang terjadi ketika proses pengukuran.



**Gambar 4. 14** Grafik BER GMSK Jarak 6m Lingkungan *Indoor* pada Kondisi LOS

Hasil pengukuran BER pada jarak 6 meter untuk kondisi NLOS ditunjukkan pada Tabel 4.6 dan Gambar 4.15.

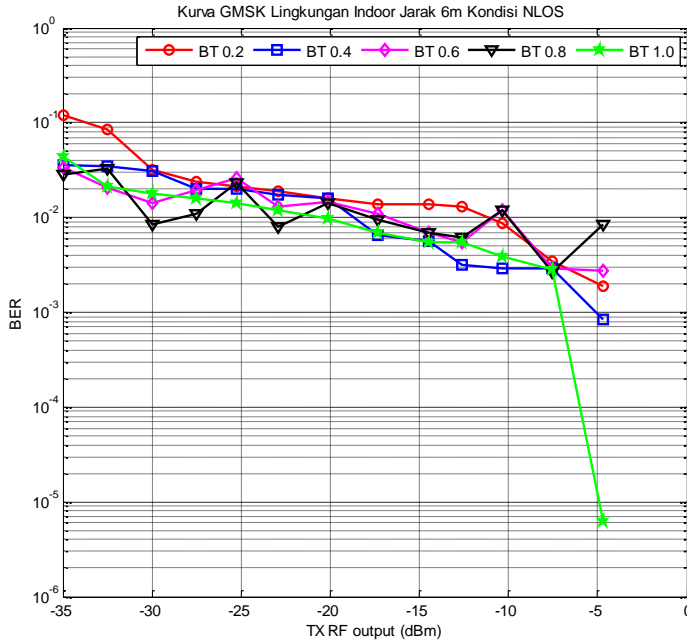
Berdasarkan hasil pengukuran jarak 6 meter pada kondisi NLOS, nilai BT = 1.0 memiliki kinerja yang paling baik diantara nilai BT lainnya. Nilai BT = 1.0 memiliki rata-rata nilai BER yang paling kecil di antara nilai BT lainnya pada TxRF yang sama, seperti pada TxRF -4.59 dBm nilai BER yang didapatkan sebesar 0.000006.

Jika hasil pengukuran antara kondisi LOS dan NLOS dibandingkan, dapat dilihat jika pada kondisi LOS memiliki nilai BER yang lebih kecil dibandingkan pada kondisi NLOS. Hal ini disebabkan karena pada kondisi NLOS terdapat penghalang berupa jaring kawat di antara pengirim dengan penerima sehingga menyebabkan sinyal yang dikirimkan mengalami lebih banyak pantulan dan menempuh jarak yang lebih jauh untuk sampai di penerima. Pemantulan sinyal tersebut dapat menyebabkan gangguan pada sinyal yang dikirimkan.

**Tabel 4. 6** Nilai BER pada Jarak 6m Lingkungan *Indoor* Kondisi NLOS

TxRF (dBm)	Bit Error Rate (BER)				
	BT = 0.2	BT = 0.4	BT = 0.6	BT = 0.8	BT = 1.0
-36.10	0.119064	0.036133	0.033305	0.028237	0.043468
-33.48	0.084981	0.034903	0.020762	0.032388	0.021021
-30.85	0.031954	0.030624	0.014223	0.008489	0.017968
-28.22	0.023789	0.020106	0.019585	0.010914	0.016011
-25.60	0.021030	0.019825	0.025727	0.022921	0.014164
-22.97	0.018986	0.017366	0.012865	0.007965	0.012079
-20.35	0.015883	0.016017	0.014722	0.014238	0.009769
-17.72	0.013880	0.006536	0.010993	0.009401	0.006816
-15	0.013839	0.005668	0.006973	0.006835	0.005527
-12.47	0.012987	0.003155	0.005521	0.006149	0.005446
-9.84	0.008670	0.002890	0.011779	0.011938	0.003867
-7.22	0.003471	0.002868	0.002943	0.002697	0.002840
-4.59	0.001860	0.000849	0.002728	0.008361	0.000006

Berdasarkan hasil pengukuran untuk setiap jarak yang digunakan, nilai BER pada jarak 4 meter memiliki nilai yang paling kecil dan nilai BER pada jarak 6 meter memiliki nilai yang paling besar. Pada jarak 4 meter, sistem masih mampu untuk menghasilkan nilai BER = 0 dengan TxRF yang lebih kecil dibandingkan pada jarak 6 meter. Hal ini sesuai dengan teori dimana semakin jauh jarak antara node pengirim dan penerima, maka nilai BER yang dihasilkan semakin besar, begitu pula sebaliknya. Semakin jauh jarak antara *node* pengirim dan *node* penerima, maka TxRF yang diperlukan akan semakin besar untuk menghasilkan error yang lebih kecil agar data yang diterima di *node* penerima sama dengan data yang dikirimkan pada *node* pengirim.



**Gambar 4. 15** Grafik BER GSMK Jarak 6m Lingkungan *Indoor* pada Kondisi NLOS

#### 4.2.2 Analisa Hasil Pengukuran Lingkungan *Outdoor*

Pengukuran di lingkungan *outdoor* dilakukan lapangan parkir Dosen Jurusan Teknik Elektro. Pengukuran *indoor* dilakukan dengan mengubah jarak antar *node* pengirim dan penerima di mulai dengan jarak 4 meter, 5 meter dan 6 meter. Untuk setiap jarak pada pengukuran, juga dilakukan pengujian untuk setiap nilai BT yaitu 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 dan 1.0. Selain itu, pengukuran juga dilakukan dengan kondisi LOS (*Line of Sight*) atau tanpa halangan dan kondisi NLOS (*No Line of Sight*) atau dengan penghalang.

Kinerja sistem yang diuji pada pengukuran ini adalah nilai dari *Bit Error Rate* (BER) dimana berdasarkan teori semakin jauh jarak antar *node* maka nilai BER yang dihasilkan akan semakin besar dan semakin besar daya yang dipancarkan, nilai BER yang dihasilkan akan semakin kecil.

**a. Jarak 4 meter**

Hasil pengukuran BER pada jarak 4 meter untuk kondisi LOS ditunjukkan pada Tabel 4.7 dan Gambar 4.16.

**Tabel 4. 7** Nilai BER pada Jarak 4m Lingkungan *Outdoor* Kondisi LOS

TxRF (dBm)	Bit Error Rate (BER)				
	BT = 0.2	BT = 0.4	BT = 0.6	BT = 0.8	BT = 1.0
-36.10	0.034732	0.005403	0.006102	0.030740	0.023727
-33.48	0.029151	0.003464	0.005615	0.016660	0.021373
-30.85	0.021979	0.001136	0.005156	0.010031	0.018986
-28.22	0.008564	0.000194	0.003652	0.005599	0.012322
-25.60	0.005718	0	0.002263	0.003667	0.010434
-22.97	0.004953	0	0.000062	0.002859	0.009438
-20.35	0.002984	0	0	0.002768	0.006089
-17.72	0.002022	0	0	0.000256	0.005930
-15	0.000874	0	0	0.000225	0.003134
-12.47	0.000705	0	0	0.000025	0.003068
-9.84	0.000387	0	0	0.000012	0.003056
-7.22	0.000225	0	0	0	0.002990
-4.59	0.000087	0	0	0	0.000306

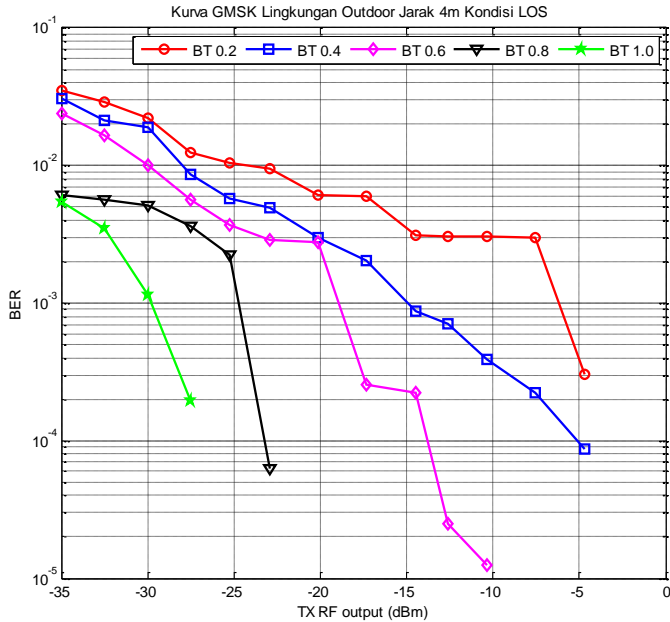
Berdasarkan hasil pengukuran pada jarak 4 meter untuk kondisi LOS, nilai BT = 0.4 memiliki kinerja yang paling baik di antara nilai BT lainnya. Nilai BT = 0.4 mampu mendapatkan nilai BER = 0 dengan TxRF sebesar -25.60 dBm. Sedangkan nilai BT = 1.0 perlu TxRF yang besar untuk mendapatkan nilai BER = 0. Berdasarkan teori, seharusnya nilai BT = 1.0 memerlukan TxRF yang lebih kecil dibandingkan BT = 0.4. Hal ini mungkin terjadi dikarenakan kondisi lingkungan dan cuaca ketika pengukuran.

Hasil pengukuran BER pada jarak 4 meter untuk kondisi NLOS ditunjukkan pada Tabel 4.8 dan Gambar 4.17.

Berdasarkan hasil pengukuran pada jarak 4 meter untuk kondisi NLOS, nilai BER yang dihasilkan oleh setiap BT pada setiap nilai TxRF yang digunakan hampir mendekati sama. Namun jika dilihat pada Gambar 4.8 nilai BT = 0.6 memiliki rata-rata nilai BER yang lebih kecil



dibandingkan dengan nilai BT lainnya. Pada TxRF -4.59 dBm, nilai BER yang dihasilkan pada BT = 0.6 sebesar 0.000012, paling kecil di antara nilai BT lainnya.

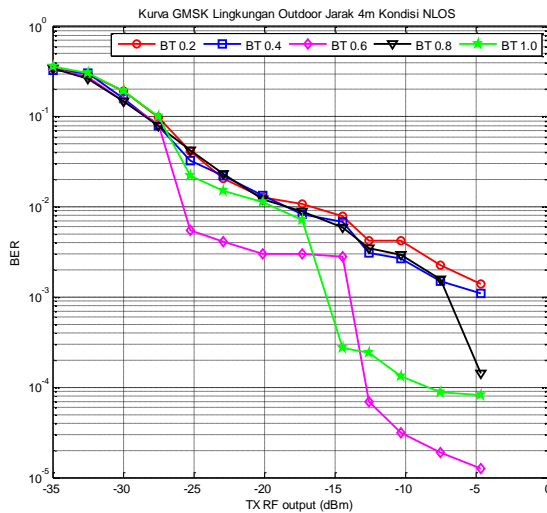


**Gambar 4. 16** Grafik BER GMSK Jarak 4m Lingkungan *Outdoor* pada Kondisi LOS

Jika nilai BER pada kondisi LOS dan NLOS dibandingkan, nilai BER pada kondisi NLOS lebih besar dibandingkan dengan LOS, kondisi ini sesuai dengan teori. Pada kondisi NLOS terdapat penghalang antara pengirim dan penerima sehingga sinyal yang dikirimkan mengalami lebih banyak pantulan dan redaman sehingga *error* yang dihasilkan lebih besar.

**Tabel 4. 8** Nilai BER pada Jarak 4m Lingkungan *Outdoor* Kondisi NLOS

TxRF (dBm)	Bit Error Rate (BER)				
	BT = 0.2	BT = 0.4	BT = 0.6	BT = 0.8	BT = 1.0
-36.10	0.342846	0.327828	0.346829	0.339913	0.361573
-33.48	0.296311	0.304501	0.276907	0.265265	0.302962
-30.85	0.190843	0.159819	0.146339	0.147921	0.193021
-28.22	0.097881	0.080050	0.082772	0.079032	0.100840
-25.60	0.041142	0.032612	0.005546	0.042247	0.022397
-22.97	0.020381	0.021919	0.004095	0.023208	0.015134
-20.35	0.012753	0.013399	0.003046	0.012016	0.011174
-17.72	0.010733	0.008271	0.003021	0.008833	0.007175
-15	0.007924	0.006801	0.002818	0.005961	0.000275
-12.47	0.004238	0.003084	0.000069	0.003464	0.000243
-9.84	0.004201	0.002659	0.000031	0.002953	0.000131
-7.22	0.002260	0.001486	0.000019	0.001579	0.000087
-4.59	0.001398	0.001086	0.000012	0.000144	0.000081



**Gambar 4. 17** Grafik BER GMSK Jarak 4m Lingkungan *Outdoor* pada Kondisi NLOS

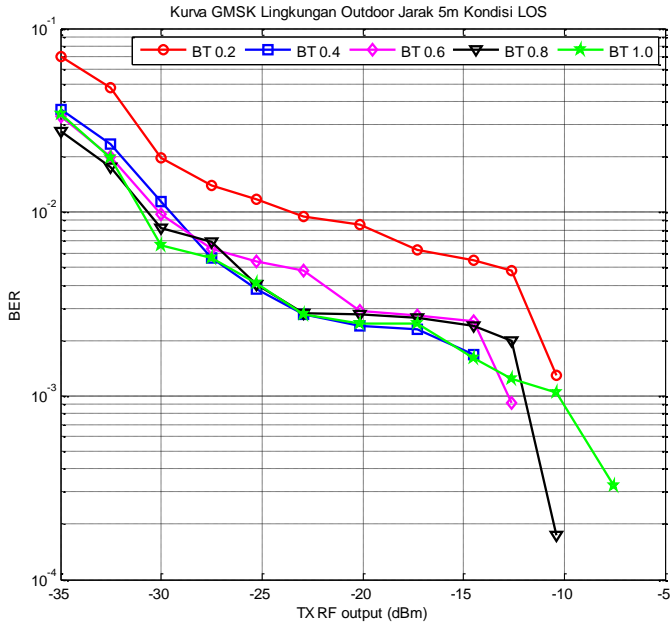
**b. Jarak 5 meter**

Hasil pengukuran BER pada jarak 5 meter untuk kondisi LOS ditunjukkan pada Tabel 4.9 dan Gambar 4.18.

Berdasarkan hasil pengukuran pada jarak 5 untuk kondisi LOS, nilai BT = 0.4 memiliki kinerja yang paling baik diantara nilai BT lainnya. Hal ini dikarenakan pada nilai BT = 0.4, dengan TxRF sebesar -12.47 dBm sudah mampu menghasilkan nilai BER sama dengan nol. Berdasarkan teori, seharusnya nilai BT = 1.0 mampu mendapatkan nilai BER sama dengan nol dengan TxRF yang lebih kecil dari BT = 0.4 (TxRF -15 dBm), namun BT = 1.0 memerlukan TxRF sebesar yaitu sebesar -4.59 dBm. Kejadian ini dipengaruhi oleh kondisi lingkungan ketika pengukuran dimana untuk setiap nilai BT yang digunakan, pengukuran tidak dilakukan pada waktu yang bersamaan.

**Tabel 4. 9** Nilai BER pada Jarak 5m Lingkungan *Outdoor* Kondisi LOS

TxRF (dBm)	Bit Error Rate (BER)				
	BT = 0.2	BT = 0.4	BT = 0.6	BT = 0.8	BT = 1.0
-36.10	0.070100	0.036370	0.033093	0.027703	0.033929
-33.48	0.047700	0.023527	0.020019	0.017534	0.019763
-30.85	0.019800	0.011361	0.009788	0.008215	0.006557
-28.22	0.013900	0.005599	0.006298	0.006851	0.005627
-25.60	0.011700	0.003836	0.005409	0.004014	0.004110
-22.97	0.009400	0.002781	0.004822	0.002800	0.002759
-20.35	0.008500	0.002413	0.002884	0.002781	0.002488
-17.72	0.006200	0.002306	0.002747	0.002656	0.002481
-15	0.005500	0.001673	0.002541	0.002403	0.001617
-12.47	0.004800	0	0.000911	0.001985	0.001239
-9.84	0.001300	0	0	0.000175	0.001049
-7.22	0	0	0	0	0.000325
-4.59	0	0	0	0	0



**Gambar 4. 18** Grafik BER GMSK Jarak 5m Lingkungan *Outdoor* pada Kondisi LOS

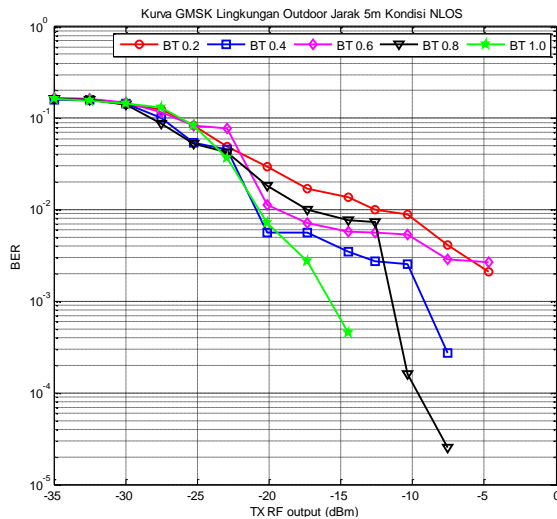
Hasil pengukuran BER pada jarak 5 meter untuk kondisi NLOS ditunjukkan pada Tabel 4.10 dan Gambar 4.19.

Berdasarkan hasil pengukuran pada jarak 5 meter untuk kondisi NLOS, nilai  $BT = 1.0$  memiliki kinerja yang paling baik di antara  $BT$  lainnya. Kondisi ini sesuai dengan teori yang ada, karena nilai  $BT$  yang semakin kecil maka akan menyebabkan efek ISI pada proses pengiriman sehingga nilai *error* yang dihasilkan menjadi semakin besar. Untuk nilai  $BT = 1.0$

Jika nilai BER pada kondisi LOS dan NLOS dibandingkan, kinerja keduanya hampir mendekati sama, tetapi *error* yang dihasilkan pada kondisi NLOS sedikit lebih besar jika dibandingkan dengan kondisi LOS. Hal ini disebabkan karena pada kondisi NLOS terdapat penghalang antara pengirim dan penerima sehingga sinyal yang dikirimkan mengalami lebih banyak pantulan dan redaman sehingga *error* yang dihasilkan lebih besar.

**Tabel 4. 10** Nilai BER pada Jarak 5m Lingkungan *Outdoor* Kondisi NLOS

TxRF (dBm)	Bit Error Rate (BER)				
	BT = 0.2	BT = 0.4	BT = 0.6	BT = 0.8	BT = 1.0
-36.10	0.161458	0.157378	0.164994	0.161576	0.161283
-33.48	0.157718	0.157285	0.161223	0.158012	0.156280
-30.85	0.142697	0.143208	0.146726	0.140156	0.142912
-28.22	0.124151	0.099997	0.117434	0.087690	0.131573
-25.60	0.082238	0.053396	0.084048	0.052562	0.082157
-22.97	0.048826	0.045836	0.078102	0.041982	0.036301
-20.35	0.029482	0.005568	0.011239	0.018374	0.007197
-17.72	0.017172	0.005565	0.007172	0.010012	0.002765
-15	0.013552	0.003443	0.005802	0.007622	0.000456
-12.47	0.010087	0.002747	0.005599	0.007406	0
-9.84	0.008989	0.002559	0.005393	0.000159	0
-7.22	0.004095	0.000275	0.002893	0.000025	0
-4.59	0.002122	0	0.002690	0	0



**Gambar 4. 19** Grafik BER GMSK Jarak 5m Lingkungan *Outdoor* pada Kondisi NLOS

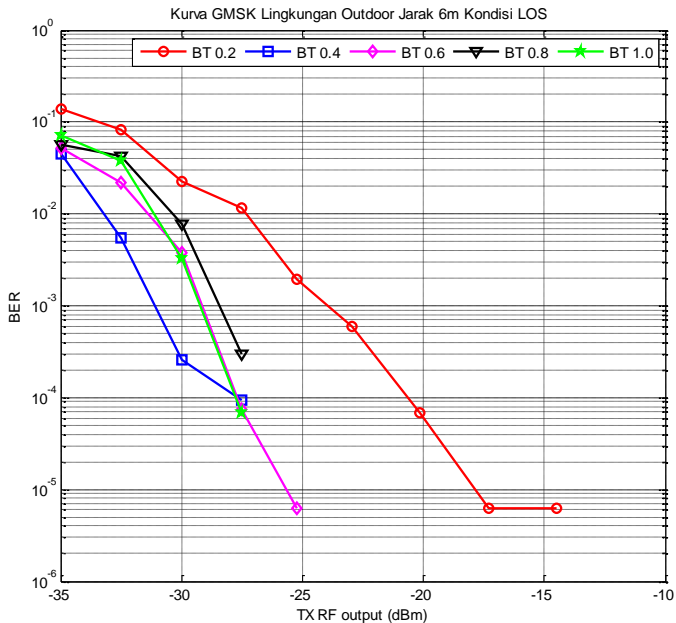
**c. Jarak 6 meter**

Hasil pengukuran BER pada jarak 6 meter untuk kondisi LOS ditunjukkan pada Tabel 4.11 dan Gambar 4.20.

**Tabel 4. 11** Nilai BER pada Jarak 6m Lingkungan *Outdoor* Kondisi LOS

TxRF (dBm)	Bit Error Rate (BER)				
	BT = 0.2	BT = 0.4	BT = 0.6	BT = 0.8	BT = 1.0
-36.10	0.138355	0.044981	0.052194	0.056208	0.072129
-33.48	0.082659	0.005471	0.021732	0.042484	0.038414
-30.85	0.022734	0.000256	0.003723	0.007775	0.003262
-28.22	0.011479	0.000094	0.000075	0.000300	0.000069
-25.60	0.001916	0	0.000006	0	0
-22.97	0.000587	0	0	0	0
-20.35	0.000069	0	0	0	0
-17.72	0.000006	0	0	0	0
-15	0.000006	0	0	0	0
-12.47	0	0	0	0	0
-9.84	0	0	0	0	0
-7.22	0	0	0	0	0
-4.59	0	0	0	0	0

Berdasarkan hasil pengukuran pada jarak 6 meter untuk kondisi LOS, nilai BT = 1.0 memiliki kinerja yang paling baik di antara BT lainnya, dimana pada TxRF sebesar -25.60 dBm sudah mendapatkan nilai BER = 0. Kondisi ini sesuai dengan teori yang ada. Sedangkan nilai BT = 0.2 memiliki kinerja yang paling jelek dimana dengan TxRF sebesar 60 belum bisa menghasilkan nilai BER = 0. Hal ini dikarenakan semakin kecil nilai BT, maka akan menyebabkan efek ISI sehingga nilai *error* menjadi lebih besar.



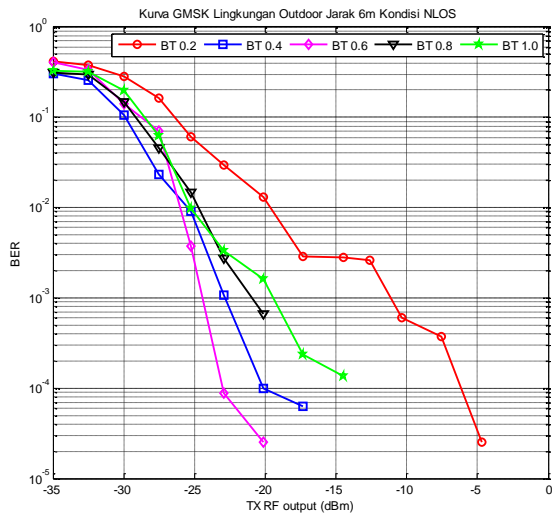
**Gambar 4. 20** Grafik BER GSMK Jarak 6m Lingkungan *Outdoor* pada Kondisi LOS

Hasil pengukuran BER pada jarak 6 meter untuk kondisi NLOS ditunjukkan pada Tabel 4.12 dan Gambar 4.21.

Jika nilai BER pada kondisi LOS dan NLOS dibandingkan, nilai BER pada kondisi LOS lebih kecil dibandingkan pada kondisi NLOS. Hal ini disebabkan karena pada kondisi NLOS terdapat penghalang antara pengirim dan penerima sehingga sinyal yang dikirimkan mengalami lebih banyak pantulan dan redaman sehingga *error* yang dihasilkan lebih besar. Pengukuran tersebut sesuai dengan teori.

**Tabel 4. 12** Nilai BER pada Jarak 6m Lingkungan *Outdoor* Kondisi NLOS

TxRF (dBm)	Bit Error Rate (BER)				
	BT = 0.2	BT = 0.4	BT = 0.6	BT = 0.8	BT = 1.0
-36.10	0.412182	0.305571	0.402222	0.309251	0.323346
-33.48	0.373904	0.258973	0.338377	0.299061	0.319329
-30.85	0.283049	0.104501	0.141245	0.147700	0.195802
-28.22	0.164444	0.023461	0.070474	0.045468	0.061898
-25.60	0.061314	0.009107	0.003755	0.014800	0.009669
-22.97	0.029688	0.001080	0.000087	0.002731	0.003293
-20.35	0.013202	0.000100	0.000025	0.000655	0.001629
-17.72	0.002840	0.000062	0	0	0.000237
-15	0.002812	0	0	0	0.000137
-12.47	0.002622	0	0	0	0
-9.84	0.000605	0	0	0	0
-7.22	0.000368	0	0	0	0
-4.59	0.000025	0	0	0	0



**Gambar 4. 21** Grafik BER GMSK Jarak 6m Lingkungan *Outdoor* pada Kondisi NLOS

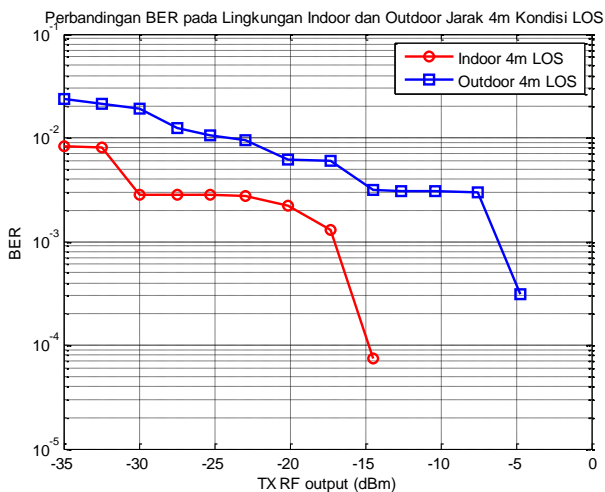


Berdasarkan teori, semakin jauh jarak maka nilai BER akan semakin besar, begitu sebaliknya. Semakin jauh jarak antara *node* pengirim dan *node* penerima, maka TxRF yang diperlukan akan semakin besar untuk menghasilkan error yang lebih kecil agar data yang diterima di *node* penerima sama dengan data yang dikirimkan pada *node* pengirim. Berdasarkan hasil pengukuran untuk setiap jarak yang digunakan, nilai BER pada jarak 6 meter memiliki nilai yang paling baik dibandingkan pada jarak 4 meter dan 5 meter. Hal ini bisa dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti kondisi lingkungan ketika melakukan pengukuran, kondisi cuaca dan interferensi dari sinyal-sinyal lainnya yang ada ketika pengukuran dilakukan.

#### 4.2.3 Analisa Hasil Pengukuran pada Lingkungan *Indoor* dan *Outdoor*

Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai perbedaan nilai BER dimana merupakan hasil pengukuran pada lingkungan *indoor* dan *outdoor*. Nilai BER yang digunakan adalah nilai BER dengan  $BT = 1.0$

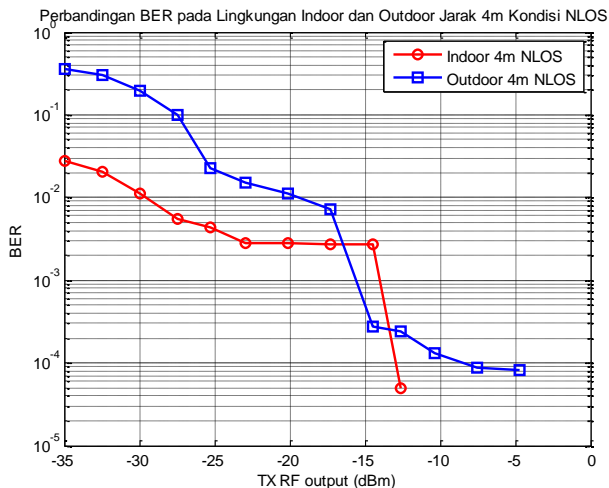
##### a. Hasil Pengukuran pada jarak 4 meter



**Gambar 4. 22** Perbandingan BER pada Lingkungan *Indoor* dan *Outdoor* pada Jarak 4 meter Kondisi LOS

Berdasarkan Gambar 4.22 terlihat perbedaan antara nilai BER pada lingkungan *indoor* dan *outdoor* pada kondisi LOS, dimana pada lingkungan *indoor* nilai BER nya lebih kecil dibandingkan pada lingkungan *outdoor*. Pada lingkungan *indoor* memerlukan TxRF yang lebih kecil untuk mendapatkan nilai BER sama dengan nol yaitu sebesar -12.47 dBm , sedangkan pada lingkungan *outdoor* dengan nilai TxRF sebesar -4.59 dBm belum mampu menghasilkan nilai BER sama dengan nol. Hal ini bisa disebabkan karena kondisi perangkat atau adanya interferensi dari frekuensi yang berada di dekatnya.

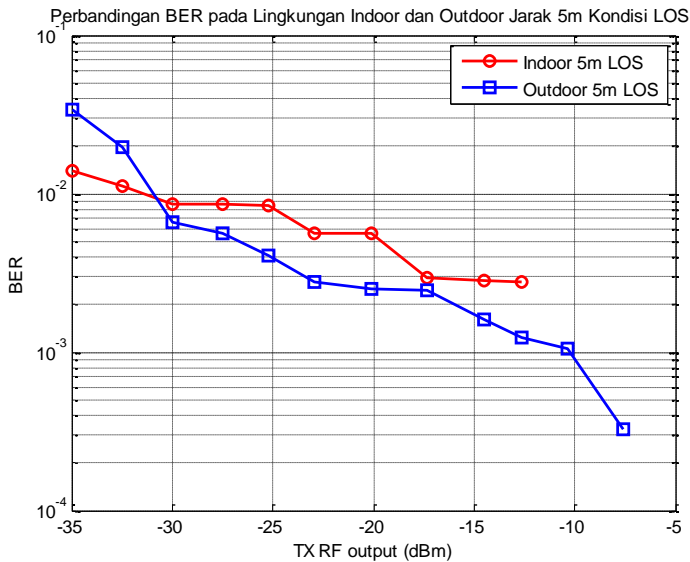
Berdasarkan Gambar 4.23, terlihat perbedaan antara nilai BER pada lingkungan *indoor* dan *outdoor* pada kondisi NLOS, dimana pada lingkungan *indoor* nilai BER nya lebih kecil dibandingkan pada lingkungan *outdoor*. Selain itu, pada lingkungan *outdoor* memerlukan TxRF yang lebih besar lagi untuk mendapatkan nilai BER sama dengan nol.



**Gambar 4. 23** Perbandingan BER pada Lingkungan *Indoor* dan *Outdoor* pada Jarak 4 meter Kondisi NLOS

### b. Hasil Pengukuran pada Jarak 5 meter

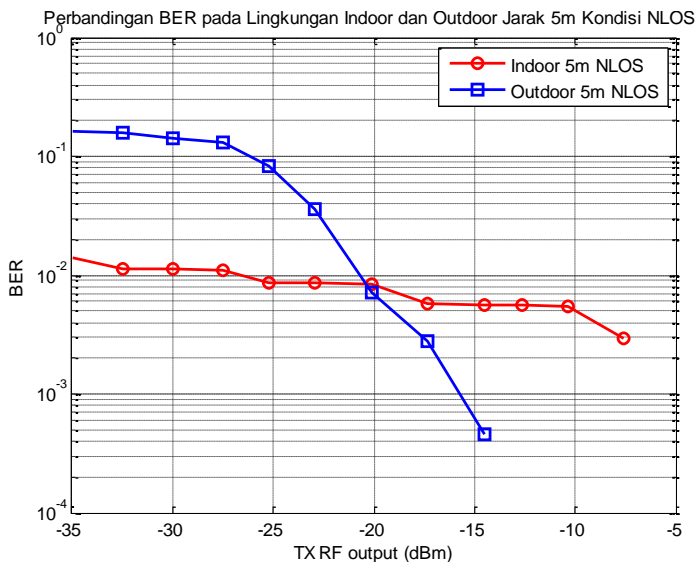
Berdasarkan Gambar 4.24, nilai BER pada lingkungan outdoor lebih kecil dibandingkan dengan lingkungan *indoor*. Tetapi untuk lingkungan *outdoor* memerlukan TxRF yang lebih besar lagi untuk mendapatkan nilai BER sama dengan nol, dibandingkan pada lingkungan *indoor* yang dapat menghasilkan nilai BER sama dengan nol pada TxRF -9.84 dBm. Nilai BER pada lingkungan *indoor* lebih besar dibandingkan lingkungan *outdoor* dikarenakan adanya benda-benda di dekat *node* pengirim dan *node* penerima pada lingkungan *indoor*. Hal ini dapat menyebabkan sinyal mengalami pantulan lebih banyak sehingga data yang dikirimkan mengalami gangguan yang menyebabkan terjadinya *error* (kesalahan). Selain itu, kondisi lingkungan dan cuaca juga mempengaruhi pengiriman data selama pengukuran.



**Gambar 4. 24** Perbandingan BER pada Lingkungan *Indoor* dan *Outdoor* pada Jarak 5 meter Kondisi LOS

Berdasarkan Gambar 4.25, nilai BER pada lingkungan *outdoor* semakin kecil seiring dengan bertambahnya nilai TxRF. Sedangkan pada lingkungan *indoor*, nilai BER yang didapatkan tidak mengalami

perubahan seiring bertambahnya nilai TxRF. Nilai BER pada lingkungan *indoor* lebih baik dibandingkan dengan lingkungan *indoor*. Hal ini terjadi dikarenakan oleh beberapa faktor seperti terdapatnya benda-benda disekitar perangkat WARP sehingga menyebabkan terjadinya pantulan yang lebih banyak. Semakin banyak pantulan yang terjadi, nilai *error* juga semakin besar. Selain disebabkan oleh pantulan, kondisi cuaca dan lingkungan juga mempengaruhi proses pengiriman data.

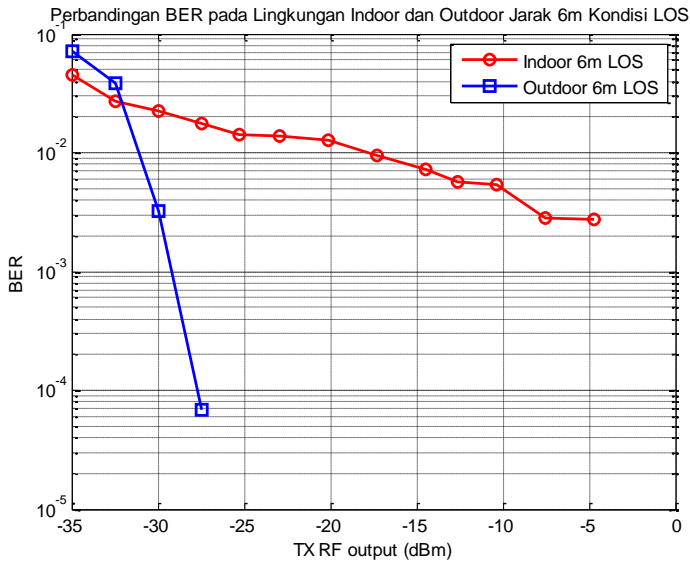


**Gambar 4. 25** Perbandingan BER pada Lingkungan *Indoor* dan *Outdoor* pada Jarak 5 meter Kondisi NLOS

### c. Hasil Pengukuran pada Jarak 6 meter

Berdasarkan Gambar 4.26, nilai BER untuk kondisi LOS pada lingkungan *outdoor* jauh lebih baik dibandingkan pada lingkungan *indoor*. Pada lingkungan *outdoor* memerlukan TxRF yang kecil yaitu sebesar 20 untuk mendapatkan nilai BER sama dengan nol, sedangkan pada lingkungan *indoor* memerlukan TxRF yang lebih besar lagi untuk mendapat nilai BER sama dengan nol. Nilai BER terkecil yang dapat dihasilkan pada pengukuran indoor hanya 0.00272784. Hal ini terjadi

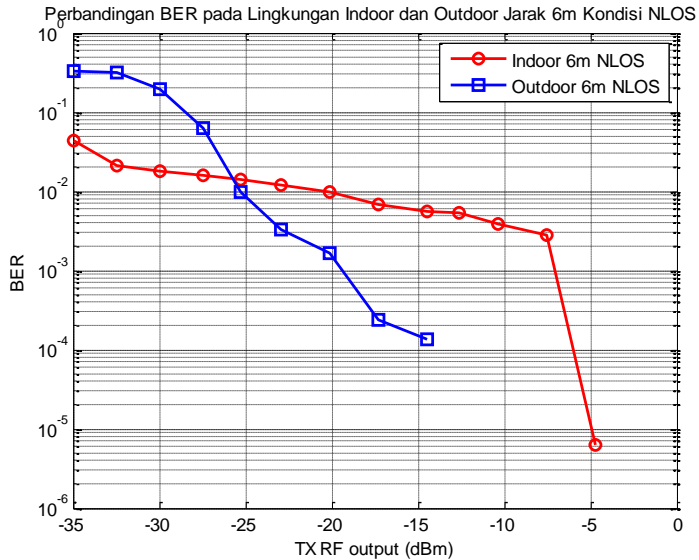
karena ketika proses pengukuran pada lingkungan *indoor* terdapat banyak benda yang ada di sekitar perangkat WARP yang menyebabkan sinyal mengalami lebih banyak pantulan. Selain itu kondisi lingkungan dan cuaca juga mempengaruhi proses pengiriman data yang berpengaruh pada nilai BER.



**Gambar 4. 26** Perbandingan BER pada Lingkungan *Indoor* dan *Outdoor* pada Jarak 6 meter Kondisi LOS

Gambar 4.27 merupakan grafik nilai BER pada jarak 6 meter di lingkungan *indoor* dan *outdoor*. Berdasarkan grafik tersebut, dapat dilihat jika nilai BER yang didapatkan pada lingkungan *outdoor* lebih baik dibandingkan pada lingkungan *indoor*. Nilai BER pada lingkungan *outdoor* semakin kecil seiring bertambahnya nilai TxRF dan mampu mendapatkan nilai BER sama dengan nol. Sedangkan pada lingkungan *indoor*, nilai BER yang didapatkan tidak mengalami perubahan yang besar seiringnya bertambahnya nilai TxRF. Hal ini terjadi karena ketika proses pengukuran pada lingkungan *indoor* terdapat banyak benda yang ada di sekitar perangkat WARP yang menyebabkan sinyal mengalami lebih banyak pantulan. Selain itu kondisi lingkungan dan cuaca juga

mempengaruhi proses pengiriman data yang berpengaruh pada nilai BER.



**Gambar 4. 27** Perbandingan BER pada Lingkungan *Indoor* dan *Outdoor* pada Jarak 6 meter Kondisi NLOS

*[ Halaman ini sengaja dikosongkan ]*

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan proses implementasi, pengujian dan analisis dari sistem teknik modulasi dan demodulasi GMSK pada modul WARP dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai BER (*Bit Error Rate*) pada implementasi sistem modulasi dan demodulasi GMSK dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya nilai BT (*Bit Periode*), jarak antara *node* pengirim dan penerima, kondisi lingkungan *indoor* dan *outdoor*, nilai TxRF serta kondisi LOS (*Line of Sight*) dan NLOS (*Non Line of Sight*) antara *node* pengirim dan penerima. Nilai BT yang kecil akan menyebabkan terjadinya ISI (*Intersymbol Interference*) dimana akan menyebabkan nilai *error* akan semakin besar.
2. Untuk lingkungan *indoor*, pada jarak 4 meter untuk kondisi LOS didapatkan nilai BER terbaik pada BT = 0.6 nilai TxRF sebesar -23 dBm dengan nilai BER sebesar  $6 \times 10^{-6}$ , sedangkan pada kondisi NLOS dengan BT = 0.6 nilai TxRF = -15 dBm dengan nilai BER sebesar  $2.678 \times 10^{-3}$ . Pada jarak 5 meter untuk kondisi LOS didapatkan nilai BER terbaik pada BT = 1.0 nilai TxRF sebesar -12.47 dBm dengan nilai BER sebesar  $2.759 \times 10^{-3}$ , sedangkan pada kondisi NLOS dengan BT = 0.6 nilai TxRF = -12.47 dBm dengan nilai BER sebesar  $2.522 \times 10^{-3}$ . Pada jarak 6 meter untuk kondisi LOS didapatkan nilai BER terbaik pada BT = 0.8 nilai TxRF sebesar -7.22 dBm dengan nilai BER sebesar  $5.471 \times 10^{-3}$ , sedangkan pada kondisi NLOS dengan BT = 1.0 nilai TxRF = -4.59 dBm dengan nilai BER sebesar  $6 \times 10^{-6}$ .
3. Untuk lingkungan *outdoor*, pada jarak 4 meter untuk kondisi LOS didapatkan nilai BER terbaik pada BT = 0.4 nilai TxRF sebesar -28.22 dBm dengan nilai BER sebesar  $1.94 \times 10^{-4}$ , sedangkan pada kondisi NLOS dengan BT = 0.6 nilai TxRF = -4.59 dBm dengan nilai BER sebesar  $1.2 \times 10^{-5}$ . Pada jarak 5 meter untuk kondisi LOS didapatkan nilai BER terbaik pada BT = 0.4 nilai TxRF sebesar -15 dBm dengan nilai BER sebesar  $1.673 \times 10^{-3}$ , sedangkan pada kondisi NLOS dengan BT = 1.0 nilai TxRF = -15 dBm dengan nilai BER sebesar  $4.56 \times 10^{-4}$ . Pada jarak 6 meter untuk kondisi LOS didapatkan nilai BER terbaik pada BT = 1.0 nilai TxRF sebesar -



28.22 dBm dengan nilai BER sebesar  $6.9 \times 10^{-5}$ , sedangkan pada kondisi NLOS dengan BT = 0.6 nilai TxRF = -20.35 dBm dengan nilai BER sebesar  $2.5 \times 10^{-5}$ .

4. Kondisi lingkungan (*indoor* dan *outdoor*) dan keberadaan benda yang berada di sekitar perangkat WARP ketika melakukan pengukuran mempengaruhi nilai BER yang dihasilkan.
5. Kondisi LOS (*Line of Sight*) menghasilkan nilai BER yang lebih kecil dan lebih baik dibandingkan pada kondisi NLOS (*No Line of Sight*).
6. Semakin besar nilai TxRF yang dipancarkan maka nilai BER yang dihasilkan juga semakin kecil, begitu pula sebaliknya.

## 5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian lebih lanjut mengenai topik ini adalah:

1. Pengujian baik secara simulasi dan implementasi sebaiknya dilakukan beberapa kali pengulangan, misalnya 5 kali.
2. Pelaksanaan pengukuran untuk pengujian implementasi sistem sebaiknya dilakukan pada saat kondisi cuaca yang baik (cuaca tidak terlalu panas dan tidak hujan) agar mendapatkan nilai BER yang baik. Pada suhu cuaca yang panas akan menyebabkan perangkat menjadi lebih cepat dan cepat rusak.
3. Penelitian dapat dikembangkan lagi dengan metode yang berbeda seperti implementasinya pada sistem komunikasi MIMO (*Multiple Input Multiple Output*)

# LAMPIRAN A

## PROPOSAL TUGAS AKHIR

Jurusan Teknik Elektro – FTI  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

TE141599 TUGAS AKHIR – 4 SKS

Nama Mahasiswa : Dwi Putri Kusumadewi  
Nomor Pokok : 22 12 106 017  
Bidang Studi : Teknik Telekomunikasi dan Multimedia  
Tugas Diberikan : Semester Gasal Th. 2014/2015  
Dosen Pembimbing : 1. Dr. Ir. Suwadi, MT  
2. Ir. Titiek Suryani, MT  
Judul Tugas Akhir : **Implementasi dan Evaluasi Kinerja Modulasi dan Demodulasi GMSK dengan Menggunakan WARP**  
(*Implementation and Performance Evaluation of GMSK Modulation and Demodulation Using WARP*)

23 SEP 2014


### Uraian Tugas Akhir :


GMSK merupakan pengembangan dari teknik modulasi MSK yang kurang efisien karena masih memiliki *side lobe* pada spektrum frekuensinya. GMSK disertai dengan filter *Gaussian* yang berupa *lowpass* filter berfungsi untuk menghilangkan *side lobe* pada teknik modulasi MSK. Perancangan modulasi dan demodulasi GMSK nantinya akan diimplementasikan secara real ke dalam platform WARP (*Wireless Open-Access Research Platform*). WARP merupakan salah satu bentuk *Software Defined Radio* yang dikembangkan sebagai modul penelitian tentang sistem komunikasi nirkabel. Modul WARP akan digunakan sebagai pemancar dan penerima untuk mengukur kualitas kinerja modulasi dan demodulasi GMSK. Implementasi modulasi dan demodulasi GMSK pada WARP dilakukan dengan menggunakan *software* MATLAB. Proses pengukuran dilakukan pada lingkungan *indoor* dan *outdoor* dengan menggunakan beberapa bit periode (BT) yang berbeda untuk mengetahui sejauh mana modulasi dan demodulasi GMSK dapat diimplementasikan pada WARP. Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah untuk mengetahui kualitas kinerja GMSK pada platform WARP dan membandingkan hasil pengukuran kualitas kerja pada WARP dengan hasil simulasi.

Kata Kunci : GMSK, WARP (*Wireless Open-Access Research Platform*)

Dosen Pembimbing I


Dosen Pembimbing II

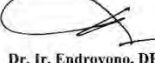
  
**Dr. Ir. Suwadi, MT**  
NIP. 19680818 1993031 002

  
**Dr. Ir. Titiek Suryani, MT**  
NIP. 19641130 1989032 001

Mengetahui,  
Jurusan Teknik Elektro FTI-ITS  
Ketua,

Menyetujui,  
Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia

  
**Dr. Tri Arif Sardjono, ST., MT.**  
NIP. 19700212 1995121 001

  
**Dr. Ir. Endrovoono, DEA**  
NIP. 19650404 1991021 001

*[ Halaman ini sengaja dikosongkan ]*

## LAMPIRAN B

### LIST PROGRAM

#### #Program Utama

```
close all;
clear all;
clc;
warning off;

clear;
ber_timer = tic;

%Statistical Iteration
stat_iter = 1;

tx_gain_RF = 0:5:5; %0:63 ~= 0:31 dB
tx_gain_bb = 1;
rx_gain_RF = 1;
rx_gain_bb = 13;
gains = tx_gain_RF;

%Experiment data set container
temp_dat_set1 = zeros(stat_iter,length(gains));

%BER Container
BER = zeros(size(gains));

nn_iter = 0;

for zz=gains

for zx=1:stat_iter

%inisialisasi
n_bit = 106800;
rand('seed',zx)
data_awal=rand(1,n_bit)>0.5;
```

```

data1=2*data_awal-1;

%***** Parameter filter Gaussian *****
nsamp_gmsk = 1;
Rb = 1000;
Tb = 1/Rb;
fs_gmsk = Rb*nsamp_gmsk;
Rs = fs_gmsk;
alpha1 = 0.2;
alpha2 = 0.2;
Bb1=alpha1/Tb;
Bb2=alpha2/Tb;
irfn=20;
n=irfn*nsamp_gmsk;
mid=(n./2);
t=-mid/fs_gmsk:1/fs_gmsk:mid/fs_gmsk;

n_payload = 2000;
sym_pilot = 9; % jumlah simbol untuk 1 pilot
n_pilot = n_payload/(sym_pilot+1); % jumlah
pilot keseluruhan
n_sym = ((n_payload - n_pilot) -
(nsamp_gmsk*irfn))/nsamp_gmsk;
n_frame = n_bit/n_sym;

data11=reshape(data1,n_frame,n_sym);

for iii=1:n_frame

%***** GMSK Modulation *****

data2=zeros(1,n_sym*nsamp_gmsk);

data2(1:nsamp_gmsk:1+nsamp_gmsk*(length(data11)-
1))=data11(iii,:);

%filter GMSK

```

```

gt1 = 1/2*(erf(-sqrt(2/log(2))*pi*Bb1*(t-
1/2*Tb))+erf(sqrt(2/log(2))*pi*Bb1*(t+1/2*Tb)));

data3=conv(data2,gt1); %konvolusi NRZ dengan
filter GMSK

th=zeros(1,length(data3));

for ii=2:length(data3)
th(1,ii)=th(1,ii-1)+pi/2*data3(1,ii-
1)./nsamp_gmsk;
end

ich2=cos(th);
qch2=sin(th);
gmsk_baseband=ich2+i*qch2;
sym_tx=gmsk_baseband;

%***** Add Pilot *****
payload_tx = pilot_add(sym_tx,sym_pilot);

%***** Add Preamble *****
preamble = [1+1i 1+1i 1+1i 0 0 0 -1-1i -1-1i -1-
1i 0 1+0i 1+0i 1+0i 0 0 0 0 0];
n_preamble = length(preamble);

nsamp_warp = 8;
ordefilter = 64;

n_padding = floor((2^14-((n_payload +
n_preamble)* nsamp_warp +
ordefilter))/nsamp_warp);
tx_data = [preamble payload_tx
zeros(1,n_padding)];

%*****Filter Pulse Shapping *****
%membangkitkan sinyal rise cosine
delay = ordefilter / (nsamp_warp*2);

```

```

rolloff = 0.3; % rolloff faktor filter
rrcfilter =
rcosine(1,nsamp_warp,'fir/sqrt',rolloff,delay);

%proses phulse shapping di TX
tx_filt=rcosflt(tx_data,1,nsamp_warp,'filter',rr
cfilter).';

%***** Upconvert ke 5 MHz *****
%parameter upconvert dan downconvert
fs = 40e6;
fc = 5e6;

time1 = [0:1:length(tx_filt)-1]/fs; % Sampling
Freq. adalah 40MHz

tx_upconvert = tx_filt .* exp(sqrt(-
1)*2*pi*fc*time1);

tx_upconvert_new(iii,:)=tx_upconvert;
end

%***** WARP *****
Fch = 2.4;
channel = 8;

tx_buff = tx_upconvert_new;
rx_buff_new =
warp_transmit(tx_buff,zz,tx_gain_bb,rx_gain_RF,r
x_gain_bb,Fch,channel);

%***** Downconvert *****
for iii=1:n_frame
rx_buff = rx_buff_new(iii,:);
time2 = [0:1:length(rx_buff)-1]/fs; % Sampling
Freq. is 40MHz
rx_bb = rx_buff.* exp(-sqrt(-1)*2*pi*fc*time2);

```

```

%***** Match Filter *****
rx_filt=rcosflt(rx_bb,1,nsamp_warp,'Fs/filter',r
rcfilter);

%***** Remove Preamble *****
corr_window = 300;
length_preamble_upsamp = nsamp_warp*n_preamble;
preamble_upsamp = upsample(preamble,nsamp_warp);
reference_samples = zeros(corr_window,1); %
matrix reference_sample 100x1

reference_samples(1:length_preamble_upsamp) =
preamble_upsamp;
reference_matrix = oeplitz(reference_samples,...
circshift(reference_samples(corr_window:-
1:1),1)); % reference_matrix (100 x 100)

%korelasi dengan reference matrix untuk
menemukan preambel sequance
correlation = abs((rx_filt(1:corr_window).') *
reference_matrix );
preamble_start = find(correlation ==
max(correlation)); % Start of preamble
first_sample_index =
preamble_start+length_preamble_upsamp; % start
dari simbol pertama setelah preamble

rx_filt2 = rx_filt(first_sample_index:end); %
proses match filter

rx_payload = downsample(rx_filt2,nsamp_warp); %
proses downsample

rx_payload2 = rx_payload(1:n_payload);

%***** Remove Pilot *****

```



```

[rx_sym,sym]=pilot_remove(rx_payload2,sym_pilot)
;

%***** GMSK Demodulation *****

ich3=real(rx_sym).';
qch3=imag(rx_sym).';

gt2= 1/2*(erf(-sqrt(2/log(2))*pi*Bb2*(t-
1/2*Tb))+erf(sqrt(2/log(2))*pi*Bb2*(t+1/2*Tb)));
%filter demodulasi GMSK

ich4=conv(ich3,gt2);
qch4=conv(qch3,gt2);

syncpoint =irfn*nsamp_gmsk-nsamp_gmsk/2+1;

ich5=ich4(syncpoint:nsamp_gmsk:length(ich4));
qch5=qch4(syncpoint:nsamp_gmsk:length(qch4));

demoddata2(1,1)=-1;

for k=3:2:length(data11)+1
demoddata2(1,k)= ich5(1,k)*qch5(1,k-1)
*cos(pi*(k))>0;
end

for n=2:2:length(data11)+1
demoddata2(1,n)=ich5(1,n-1)*qch5(1,n)
*cos(pi*(n))>0;
end

[demodata]=demoddata2(1,2:length(data11)+1);
demodata_new(iii,:)= demodata;
end %for nloop

```

```

%***** Bit Error Rate (BER) *****

data_akhir=reshape(demodata_new,1,length(data_awal));

[numl,SER]=biterr(data_akhir,data_awal);

end %for zx
nn_iter = nn_iter+1;
fprintf('Done for Tx RF Gain = %d\n',zz);

%Save each statistical iteration data - SISO
temp_dat_set1(zx,nn_iter) = SER;

end %for gains

%***** Output result *****

BER_SISO(1,:) = mean(temp_dat_set1,1);

% Convert gain setting to Tx RF output in dBm
according to MAX-2828/9
tx_gain_set = [0;8;16;24;32;40;48;56;63];
eqv_gain = [-35;-31;-27;-23.5;-19;-14.5;-11.5;-7;-3];
tx_outp=interp1(tx_gain_set,eqv_gain,gains,'linear','extrap');

figure(1);
semilogy(tx_outp,BER_SISO,'-sr');
legend('SISO GMSK');

xlabel('TX RF Gain (dBm)');
ylabel('BER');
grid;

```

```

save('D:\1_Data_Pengukuran_Team\SemGenap_2014\4_
Dewi\Pengukuran\141213\indoor\6
meter\BER_Tb0.2_1_obst.mat')
saveas(gcf,'D:\1_Data_Pengukuran_Team\SemGenap_2
014\4_Dewi\Pengukuran\141213\indoor\6
meter\BER_Tb0.2_1_obst.fig')
saveas(gcf,'D:\1_Data_Pengukuran_Team\SemGenap_2
014\4_Dewi\Pengukuran\141213\indoor\6
meter\BER_Tb0.2_1_obst.bmp')

```

```

fprintf('Elapsed Time : %f
hours\n',toc(ber_timer)/(60*60));

```

```

fig_title='show spectrum'
[y0_psd,f0,y0_psd2,f02]=show_spectrum(tx_upconve
rt,tx_filt,40000000,fig_title);

```

#### **#pilot\_add.m**

```

function payload_tx = pilot_add
(sym_tx,sym_pilot)
[n,m] = size(sym_tx);
if n > m
    sym_tx = sym_tx.';
else
    sym_tx = sym_tx;
end

```

```

n_sym = length(sym_tx); % panjang sym setelah
modulasi
n_pil= n_sym / sym_pilot; % jumlah pilot

```

```

sp = zeros(1,(n_pil+n_sym)); % matrik zero dari
pilot + n_sym (payload)
sp(:, [1:sym_pilot+1:end])=ones; % menempatkan
pilot pada vektor zero
n=1;

```

```

%looping untuk menambahkan pilot pada symbol
hasil modulasi
for ii = 1:sym_pilot+1:length(sp)
    sp(:, [ii+1:ii+sym_pilot]) =
sym_tx(:, [n*sym_pilot-(sym_pilot-
1):n*sym_pilot]);
    n=n+1;
end

payload_tx = sp;
end

#pilot_remove.m
function [rx_sym,sym]= pilot_remove
(rx_payload,sym_pilot)
[n,m] = size(rx_payload);
if n > m
    rx_payload = rx_payload.';
else
    rx_payload = rx_payload;
end

n_payload = length(rx_payload); % panjang sym
payload di RX
n_pil= n_payload / (sym_pilot+1); % jumlah pilot

h = rx_payload(1:sym_pilot+1:end);
n=1;

% looping untuk menambahkan pilot pada symbol
hasil modulasi
for ii = 1:sym_pilot+1:length(rx_payload)
    sym(:, [n*sym_pilot-(sym_pilot-
1):n*sym_pilot]) =
rx_payload(:, [ii+1:ii+sym_pilot]);
    n=n+1;
end

```

```

ch_est = kron(h,ones(1,sym_pilot));
%
rx_sym = sym.*exp(-1i*angle(ch_est));
rx_sym= rx_sym.';
sym = sym;
% sym = r_signals;
end

```

### **#show\_spectrum.m**

```

function [y0_psd,f0,y0_psd2,f02,aa,bb,cc] =
show_spectrum(in_sig,in_sig2,Fs,fig_title)

T = 1/Fs; % Sample time
L = length(in_sig); % Length of signal
t = (0:L-1)*T; % Time vector
Y = fft(in_sig,L); % FFT signals
Y2 = fft(in_sig2,L);
Y_psd = (1/(Fs*L)).*abs(Y).^2; % Power Spectral
Density (PSD)
Y_psd2 = (1/(Fs*L)).*abs(Y2).^2;
f = Fs/2*linspace(0,1,L/2+1);

% Plot single-sided amplitude spectrum.

% bb=figure;
subplot(211)
plot(f,10*log10(Y_psd2(1:L/2+1)),'k')
title('(a) Sebelum di Upconvert')
xlabel('Frequency (Hz)')
ylabel('dB/Hz')

% aa=figure;
subplot(212)
plot(f,10*log10(Y_psd(1:L/2+1)),'k')
title('(b) Setelah di Upconvert')
xlabel('Frequency (Hz)')
ylabel('dB/Hz')

```

```

% Plot double-sided amplitude spectrum.
y0 = fftshift(Y); % Rearrange y values
y0_psd = (1/(Fs*L)).*abs(y0).^2; % Power
Spectral Density (PSD)
f0 = (-L/2:L/2-1)*(Fs/L); % 0-centered frequency
range

y02 = fftshift(Y2); % Rearrange y values
y0_psd2 = (1/(Fs*L)).*abs(y02).^2; % Power
Spectral Density (PSD)
f02 = (-L/2:L/2-1)*(Fs/L);

cc=figure;
plot(f0,10*log10(y0_psd),'k')
plot(f02,10*log10(y0_psd2),'c')
%
plot(f0,10*log10(y0_psd),'k',f02,10*log10(y0_psd
2),'c')
title(fig_title,'FontWeight','Bold')
xlabel('Frequency (Hz)')
ylabel('dB/Hz')

end

```

### **#warp\_transmit.m**

```

function [rx_vec_air,rx_RSSI,rx_gains] =
warp_transmit(tx_vec_air,TxGainRF,TxGainBB,RxGai
nRF,RxGainBB,fc,channel)

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Set up the WARPLab experiment
% Prepare for Transmit Using WARP
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

USE_AGC = false;
% false = if use gain control
% true = if not use gain control

```

```

NUMNODES = 2;

% create a vector of node objects
nodes = wl_initNodes(NUMNODES);

fprintf('Begin WARP Tx-Rx...\n')
tic;

% create a UDP broadcast trigger and tell each
node to be ready for it
eth_trig = wl_trigger_eth_udp_broadcast;
wl_triggerManagerCmd(nodes, 'add_ethernet_trigger', [eth_trig]);

% get IDs for the interfaces on the boards.
Since this example assumes
% each board has the same interface
capabilities, we only need to get
% the IDs from one of the boards
[RFa, RFb] = wl_getInterfaceIDs(nodes(1));

% set up the interface for the experiment
wl_interfaceCmd(nodes, 'RF_ALL', 'tx_gains', TxGain
BB, TxGainRF);
wl_interfaceCmd(nodes, 'RF_ALL', 'channel', fc, chan
nel);

if(USE_AGC)

wl_interfaceCmd(nodes, 'RF_ALL', 'rx_gain_mode', 'a
utomatic');
    wl_basebandCmd(nodes, 'agc_target', -10);
    wl_basebandCmd(nodes, 'agc_trig_delay', 500);
else

wl_interfaceCmd(nodes, 'RF_ALL', 'rx_gain_mode', 'm
anual');

```

```

wl_interfaceCmd(nodes, 'RF_ALL', 'rx_gains', RxGain
RF, RxGainBB);
end

% use the transmitter's I/Q buffer size to
determine how long our
% transmission can be
TX_NUM_SAMPS =
nodes(1).baseband.txIQLen;
SAMP_FREQ =
wl_basebandCmd(nodes(1), 'tx_buff_clk_freq');

% set up the baseband for the experiment
wl_basebandCmd(nodes, 'tx_delay', 0);
wl_basebandCmd(nodes, 'tx_length', TX_NUM_SAMPS);
example_mode_string = 'hw';

node_tx = nodes(1);
node_rx = nodes(2);
RF_TX = RFA;
RF_RX = RFA;

Ts =
1/(wl_basebandCmd(nodes(1), 'tx_buff_clk_freq'));
Ts_RSSI =
1/(wl_basebandCmd(nodes(1), 'rx_rssi_clk_freq'));

% mulai
tx_vec_air = tx_vec_air.';
tx_vec_air_size = size(tx_vec_air);
rx_vec_air =
zeros(TX_NUM_SAMPS, tx_vec_air_size(2));
rx_RSSI =
zeros(TX_NUM_SAMPS/4, tx_vec_air_size(2));
rx_gains =
zeros(3, tx_vec_air_size(2));

```



```

%Do transmit-receive for all st frames
wl_interfaceCmd(node_tx,RF_TX,'tx_en');
wl_interfaceCmd(node_rx,RF_RX,'rx_en');
wl_basebandCmd(node_tx,RF_TX,'tx_buff_en');
wl_basebandCmd(node_rx,RF_RX,'rx_buff_en');

for m=1:tx_vec_air_size(2);

wl_basebandCmd(node_tx,[RF_TX], 'write_IQ',
tx_vec_air(:,m) );

%send trigger
eth_trig.send();

%Get received data

%First RF
rx_vec_air(:,m) =
wl_basebandCmd(node_rx,[RF_RX], 'read_IQ', 0,
TX_NUM_SAMPS);
    rx_RSSI(:,m) =
wl_basebandCmd(node_rx,[RF_RX], 'read_RSSI',0,TX_
NUM_SAMPS/(Ts_RSSI/Ts));
    rx_gains(:,m) =
wl_basebandCmd(node_rx,[RF_RX], 'agc_state');

end

%Disable all RF to both node
wl_basebandCmd(nodes,'RF_ALL','tx_rx_buff_dis');
wl_interfaceCmd(nodes,'RF_ALL','tx_rx_dis');

rx_vec_air      = rx_vec_air.';

pr_time = toc;
fprintf('\nDone. Process time = %f s
\n',pr_time);
end

```

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Murota, K. and Hirade, K. July 1981. GMSK Modulation for Digital Mobile Radio Telephony. *IEEE Transactions on Communications*. Vol. Com-29, No. 7.
- [2] Marpanaji, Eko., Riyanto, Bambang., Langi, Armein Z.R., Mahendra, Andri and Liung, Thay. 2006. "Simulation and Experimental Study of GMSK Modulation on SDR Platform." *International Joint Conference TSSA & WSSA 2006*.
- [3] Sukmana, Aditya., Suwadi dan Suryani, Titiek. 2014. "Implementasi Modulasi dan Demodulasi GMSK pada DSK TMS320C6416T". *Jurnal Teknik POMITS* Vol. 3, No 1.
- [4] Patrick Murphy, Ashu Sabharwal, and Behnaam Aazhang, "Design of WARP: a Wireless Open-Access Research Platform," 14<sup>th</sup> European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2006), Florence, Italy, September 4-8, 2006.
- [5] WARP Project – Wireless Open Access Research Platform. <http://warp.rice.edu/trac>.
- [6] Maxim Integrated Product Inc. MAX2829/2829 Single-/Dual-Band 802.11a/b/g World-band Transceiver Ics Datasheet. 2004.
- [7] Gobel, Raynal R., Suwadi dan Wirawan. "Analisa Performansi Sistem Komunikasi *Single-Input Multiple-Output* Pada Lingkungan *Indoor* Menggunakan WARP". 2014
- [8] Khattab, Ahmed., Camp, Joseph., Hunter, Chris., Murphy, Patrick., Sabharwal, Ashutosh and Kightly, Edward W. "Demonstration Abstract: WARP – A Flexible Platform for Clean-Slate Wireless Medium Access Protocol Design". ECE Department, Rice University, Houston, TX, USA.  
Proakis, John G. "Digital Communications Fourth Edition". Prentice Hall. 2006.

- [9] Proakis, John G. "*Digital Communications Fourth Edition*". Prentice Hall. 2006
- [10] \_\_\_\_\_. "Sistem Komunikasi Digital". Diktat kuliah ke 2&4 Sistem Komunikasi Digital. 2013

## DAFTAR RIWAYAT HDUP



**Dwi Putri Kusumadewi** dilahirkan di kota Singaraja pada tanggal 14 September 1991 merupakan anak kedua dari dua bersaudara pasangan I Made Desi dan Luh Sumartini. Penulis menamatkan sekolah si SD 3 4 7 Banjar Jawa pada tahun 2003. Kemudian masuk ke SMPN 1 Singaraja, tamat pada tahun 2006 dan melanjutkan di SMA Negeri 1 Singaraja pada tahun yang sama. Pada tahun 2009, penulis melanjutkan pendidikan di Jurusan D3 Teknik

Telekomunikasi, Fakultas Elektro dan Komunikasi, Institut Teknologi Telkom Bandung dan tamat pada tahun 2012. Selanjutnya penulis mengambil pendidikan S1 program Lintas Jalur di Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada awal tahun 2013. Penulis memilih bidang studi Telekomunikasi Multimedia dan mengambil topik Tugas Akhir di Laboratorium Komunikasi Multimedia.

*[ Halaman ini sengaja dikosongkan ]*